

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



**Evaluación de Inhibidores para el Control de Incrustaciones de
Sílice en el Separador Ciclónico N°3 de la Planta San Jacinto
Tizate, junio-diciembre de 2014.**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:
Br. Gunter Ezequiel Gámez Altamirano.

TUTOR:
Dra. Indiana García

ASESOR:
MSc. Kevin Padilla

MANAGUA, NICARAGUA

Febrero 2016

TERMINOS Y CONDICIONES

El PASANTE deberá cumplir los términos y condiciones para el desarrollo dentro de la empresa de su trabajo monográfico según lo establecido a continuación:

- PENSA le proveerá a EL PASANTE acceso a tecnología, documentos, datos, especificaciones, métodos, procesos y en general información relacionada con el desarrollo de su trabajo monográfico, esto es considerado como **INFORMACION CONFIDENCIAL**, en tal virtud EL PASANTE estará obligado a no divulgar, revelar, comunicar, transmitir, grabar, fotografiar, duplicar, copiar o de cualquier otra forma reproducir, sin la autorización debida y por escrito de PENSA la información y documentación a que tendrá acceso. Esta información estará vigente mientras por tres años desde el inicio de las pasantías. En este sentido EL PASANTE reconoce y acepta que la violación o incumplimiento a lo anterior será causal de rescisión de sus pasantías
- PENSA dará a EL PASANTE acceso a los equipos de Laboratorio, reactivos químicos, esto para realizar análisis de sílice en agua geotérmica. EL PASANTE no podrá utilizar otros tipos de reactivos de laboratorio que no sea para este fin sin la autorización debida por parte de PENSA.
- EL PASANTE deberá respetar las medidas en materia de higiene, seguridad y medio ambiente según las políticas, normativas, procedimientos e instructivos establecidos por PENSA. En este sentido deberá utilizar los equipos de seguridad provistos por PENSA cuando realice trabajos en el campo.
- Cuando sea requerido, EL PASANTE deberá realizar presentaciones sobre el avance de su trabajo monográfico al personal asignado por PENSA.
- EL PASANTE una vez culmine el trabajo monográfico entregará una copia fiel del documento a PENSA.

Para efectos de formalizar estos acuerdos el PASANTE firma el documento y da fe de haber entendido las obligaciones y alcance legal de los términos antes mencionados y se imprime en una hoja de un mismo tenor, en la ciudad de León, el día 03 de abril de 2014.


Gunter Ezquerri Gómez Altamirano
EL PASANTE

*“La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento,
sino también en la destreza de aplicar los
conocimientos en la práctica”*

Aristóteles

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hizo realidad este sueño anhelado.

A mis padres Vivian y Edwar por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida

A mis hermanos Bianca y Edward que son parte importante en mi vida y también ser para ellos un ejemplo a seguir.

A Virginia con quien he compartido 2 años, y siempre me ha brindado su apoyo, comprensión y amor sin condiciones.

Agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a Melida Ibarra.

A mi tutora la Dra. Indiana García, que han sido la base para mí en conocimientos que me brindo en la universidad y a lo largo de la tesis, un ejemplo a seguir a nivel profesional y que siempre han estado cuando la he requerido.

Gracias a mi asesor Ing. Kevin Padilla por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis profesional en la Planta San Jacinto Tizate y por todo el apoyo y facilidades que me fueron otorgadas en la empresa. Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

Gracias a mis compañeros de clases Julio, Oscar, Eder, Carlos, Jeynner, Fabio, y Luis, con quienes compartí 5 años llenos de alegrías y estrés, que a pesar de la dificultades siempre nos mantuvimos juntos animándonos.

DEDICATORIA

Dedico de manera especial a Dios, ya que sin él no podría haber culminado.

A Vivian y mi abuelita Maria Altamirano por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de mis 5 años de carrera, por orientarme y jamás darme por vencido, ya que ellas también lucharon para que yo llegara hasta donde estoy. Así que esta tesis de culminación es un triunfo compartido. Muchísimas gracias mamá y abuelita María.

RESUMEN

En el siguiente estudio monográfico se realizó la evaluación de inhibidores para el control de incrustaciones de sílice en el separador ciclónico N°3 de la planta geotérmica San Jacinto Tizate en León - Nicaragua. Así mismo se hace énfasis en los beneficios que aporta un inhibidor que cumple con los objetivos deseados para reducir la problemática natural de la formación de sílice en este tipo de plantas generadoras con el objetivo de aumentar su eficiencia.

Se evaluaron tres tipos de inhibidores con diferentes dosis en el separador ciclónico N°3, debido a que éste está conformado por dos pozos productores SJ12-2 y SJ12-3, en los cuales se encuentran altas concentraciones de sílice, provocando la formación de incrustaciones en las tuberías de la línea de re-inyección de los pozos SJ11-1 y SJ12-1.

Para evaluar la eficiencia de los inhibidores se hizo uso de análisis de sílice total y sílice monomérica, para ver la cantidad de sílice que polimeriza cuando la salmuera es re-inyectada, y de mecanismos mecánicos como es el elemento de flujo en donde se da a conocer la tasa de incrustación en un tiempo transcurrido.

Luego de obtener los resultados, se hicieron comparaciones entre los tres inhibidores, tomando en cuenta también el costo anual de cada uno de los inhibidores para seleccionar el que tuvo mejor resultado en campo y más factible a nivel económico.

Considerando los resultados obtenidos de las diversas pruebas se recomienda el uso del inhibidor 3, debido a que presentó mejores resultados con una menor tasa de incrustación, y económicamente viable ya que en comparación a los otros dos inhibidores su costo anual es el más alto, pero tomando en cuenta la tasa de incrustación y espesor de la incrustación, lo cual afecta la capacidad de producción, tiempo de duración del mantenimiento y la capacidad económica, el inhibidor 3 es el mejor ya que reduce en gran medida la pérdida de producción, el tiempo del mantenimiento y no afecta de forma considerable la capacidad económica en comparación a los inhibidores 1 y 2. También se desarrollaron conclusiones y recomendaciones que podrían ser tomadas en cuenta para pruebas futuras en la Planta San Jacinto Tizate y en otras plantas Geotérmicas que se encuentren con la misma problemática a nivel mundial.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	iii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Formación de Sílice	4
3.1.1. Interacción Agua – Roca	5
3.1.2. Tipos de Rocas que Interactúan con el Agua Geotérmica.....	5
3.2. Formas de la Sílice	8
3.3. Composición Química del Agua Geotérmica	9
3.4. Polimerización de la Sílice en Solución Acuosa	10
3.4.1. Incrustación	10
3.5. Factores que Afectan la Solubilidad de la Sílice	11
3.6. Método Analítico de la Sílice	13
3.6.1. Espectrofotometría	13
3.6.2. Análisis por Espectrofotómetro de Absorción Atómica	14
3.6.3. Gravimetría	16
3.7. Tratamientos para Reducir la Incrustación de Sílice	16
3.7.1. Inyección de Ácido.....	16
3.7.2. Inyección de Ácido y Alkali	16
3.7.3. Diámetro Pequeño de Múltiples Pozos de Inyección.....	17
3.7.4. Inhibidores	17
3.8. Descripción del problema	17
3.8.1. Descripción del Proceso Geotérmico de Re-inyección de Agua.....	17
3.8.2. Problemática a Resolver.....	20

4.	METODOLOGÍA	25
4.1.	Tipo de Estudio.....	25
4.2.	Almacenaje de la Muestra	25
4.3.	Universo	25
4.4.	Muestra.....	26
4.5.	Método Investigativo.....	29
4.6.	Variables de Estudio.....	29
4.7.	Diseño Experimental.....	31
4.7.1.	Dosis de Inhibidor 1	32
4.7.2.	Prueba de Inhibidor 2 e Inhibidor 3.....	32
4.8.	Método para Determinar la Concentración de Sílice	33
4.8.1.	Método de Molibdato de Amonio (Sílice Total)	33
4.8.2.	Método de Sílice Monomérica	33
4.8.3.	Método de las Adiciones del Estándar.....	33
5.	RESULTADOS.....	35
5.1.	Concentración de Sílice de los Pozos Productores SJ12-2 y SJ12-3.....	35
5.2.	Concentración de Sílice en la Línea de la Tubería de Re-inyección	38
5.3.	Eficiencia de los Inhibidores (Prueba de Polimerización)	40
5.4.	Incrustación de Sílice en el Elemento de Flujo	43
5.5.	Costo Anual de los Inhibidores	46
6.	CONCLUSIONES	47
7.	RECOMENDACIONES.....	48
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Solubilidad de la Sílice con Respecto a la Temperatura.....	12
Figura 3.2 Diagrama de los Pozos (Planta San Jacinto Tizate).....	19
Figura 3.3 Flujograma del Proceso Geotérmico.....	20
Figura 3.4 Separador Ciclónico N°3.....	22
Figura 3.5 Sistema de Inhibición en el Separador Ciclónico N°3.....	23
Figura 3.6 Incrustación de Sílice en la Válvula Check.....	23
Figura 3.7 Incrustación de Sílice en la Tubería.....	24
Figura 4.1 Mapa del Campo de San Jacinto Tizate.....	26
Figura 4.2 Puntos de Muestreo.....	28
Figura 4.3 Puntos de Inyección de Inhibidor.....	31
Figura 5.1 Concentración de Sílice SJ12-2 y SJ12-3.....	36
Figura 5.2 Solubilidad de Sílice en SJ12-2 y SJ12-3.....	37
Figura 5.3 Índice de Saturación.....	38
Figura 5.4 Línea de Re-inyección SJ11-1.....	39
Figura 5.5 Línea de Re-inyección SJ12-1.....	40
Figura 5.6 Separador Ciclónico N°3 (Elemento de Flujo).....	43
Figura 5.7 Incrustación de Sílice en el Elemento de Flujo.....	45
Figura 5.8 Espesor de Incrustación de Sílice en el Elemento de Flujo.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Composición Química de la Andesita.....	6
Tabla 3.2 Composición Química del Basalto.....	6
Tabla 3.3 Fórmula de los Diversos Compuestos del Ortopiroxeno.....	7
Tabla 3.4 Fórmula de los Diversos Compuestos del Clinopiroxeno.....	8
Tabla 3.5 Composición Química del Agua Geotérmica.....	9
Tabla 3.6 Flujos de los Separadores.....	18
Tabla 3.7 Concentración de Sílice en los Pozos Productores.....	21
Tabla 4.1 Variables de Estudio.....	30
Tabla 4.2 Variación de Dosis y Tiempo de Duración de Inhibidor 1.....	32
Tabla 4.3 Dosis y Tiempo de Duración de los Inhibidores 2 y 3.....	32
Tabla 5.1 Concentración de Sílice de los Pozos Productores.....	35
Tabla 5.2 Concentración de Sílice en la Línea del SJ11-1 y SJ12-1.....	38
Tabla 5.3 Prueba de Polimerización de Inhibidor 1.....	41
Tabla 5.4 Prueba de Polimerización de Inhibidor 2.....	41
Tabla 5.5 Prueba de Polimerización de Inhibidor 3.....	42
Tabla 5.6 Prueba de Polimerización Sin Inhibidor.....	42
Tabla 5.7 Elemento de Flujo.....	44
Tabla 5.8 Costos Anual de Inhibidores.....	46

1. INTRODUCCIÓN

La Central Geotérmica San Jacinto Tizate a través de sus dos unidades turbogeneradoras a condensación suministra alrededor de 56MWH a la red nacional de energía de Nicaragua. El proceso inicia con el vapor extraído de los pozos productores, el cual es enviado a la planta donde la energía térmica es transformada a energía mecánica en los álabes de la turbina y posteriormente en energía eléctrica en el generador.

El vapor requerido para mover la turbina se obtiene de yacimientos de agua caliente rica en minerales que se encuentra en el sub-suelo. La Central cuenta con ocho pozos productores con profundidades entre 700 m a 2,300 m, durante el ascenso del fluido se produce un flasheo por despresurización convirtiéndose en un fluido bifásico (agua-vapor). Una vez en la superficie, las tuberías de fluido bifásico conducen a un separador ciclónico donde se consigue separar la masa de vapor y la de agua. El vapor es enviado a la planta y el agua (salmuera) es bombeada hacia los pozos inyectores.

La Central cuenta con cuatro pozos inyectores de salmuera. El término “salmuera” es típicamente conocido en esta industria por la gran cantidad de sales que el agua contiene. Uno de los principales compuestos de la salmuera es la sílice (SiO_2), el cual se encuentra en el agua debido a las grandes cantidades disponibles en las rocas del sub-suelo.

La sílice es el segundo compuesto más abundante del planeta y se encuentra en la mayoría de las aguas. Es el constituyente común de las rocas ígneas, el cuarzo y la arena. La sílice puede estar en forma insoluble, soluble y coloidal. Muchas aguas naturales contienen menos de 10 mg/L de sílice, algunas pueden llegar a contener hasta 80 mg/L. El agua (salmuera) de la Central tiene concentraciones de sílice entre 400 mg/L a 1,200 mg/L, esto se debe a las altas temperaturas del yacimiento. A medida que el agua (salmuera) asciende, disminuye su temperatura por la separación del vapor, ocasionando que la concentración de sílice sobrepase su solubilidad, teniendo como consecuencias precipitaciones o incrustaciones de sílice sobre las tuberías transportadoras de salmuera y vapor, esto se da en muchos campos geotérmicos como es el caso también del campo geotérmico Cerro Prieto en Mexicali, Baja California México, (Díaz & Rincón, 1990) en donde se encuentran altas concentraciones de sílice, lo que perjudica la producción de energía.

La sílice ha sido un problema para las plantas geotérmicas, en Nicaragua existen dos campos geotérmicos como es la planta San Jacinto Tizate y Momotombo, pero en ninguna de las plantas existen antecedentes históricos sobre esta problemática hasta ahora.

Desde el 2012, la Central Geotérmica de San Jacinto Tizate ha implementado el uso de inhibidores de incrustación de sílice con el objetivo de reducir la incrustación. Sin embargo, desde enero 2013 con la puesta en marcha de los pozos SJ12-2 y SJ12-3, se han realizado varios paros de planta no programados para dar mantenimiento correctivo a la estación de inyección de salmuera del Separador N°3.

Por lo que este estudio tiene como objetivo evaluar la efectividad de varios inhibidores para reducir este tipo de incrustaciones en las tuberías en la línea de inyección de salmuera del Separador N°3 mediante la evaluación de la efectividad de varios inhibidores para este tipo de incrustación.

Las pruebas experimentales fueron desarrolladas en el período de Junio a Diciembre del 2014.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Evaluar las diferentes dosis y tipos de inhibidores para prevenir incrustaciones por sílice en las instalaciones superficiales y pozos inyectoras garantizando la disponibilidad del diámetro original de las tuberías de inyección lográndose aumentar la eficiencia del sistema de re-inyección del Separador N°3 en el campo geotérmico San Jacinto Tizate.

2.2. Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad de sílice que precipita desde los pozos productores SJ12-2 y SJ12-3 hasta los pozos re-inyectoras SJ11-1 y SJ12-1 mediante una prueba de polimerización.
- Determinar los índices de saturación de sílice de los pozos SJ12-2 y SJ12-3.
- Medir las tasas de incrustación de sílice en las líneas de re-inyección conectadas al Separador N°3.
- Evaluar diferentes tipos de inhibidores a diferentes dosis para seleccionar el que controle de forma más eficiente las incrustaciones de sílice y además que sea económicamente rentable para la Planta San Jacinto Tizate.

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se explica la formación de la sílice en las aguas geotérmicas y aspectos que afectan su solubilidad. También se muestran diversos métodos estandarizados para medir la concentración de la sílice de una muestra de agua geotérmica y se presentan diversos métodos de tratamiento para evitar la formación de incrustaciones de sílice.

3.1. Formación de Sílice

Los elementos de los cuales están conformados grandes partes de las rocas volcánicas son de silicio y oxígeno, los dos elementos más abundantes en la corteza terrestre, los cuales se combinan con diversos elementos metálicos para producir silicatos, existiendo más de 900 silicatos diferentes.

El silicio es un elemento químico metaloide, está situado en el grupo 14 de la tabla periódica de los elementos formando parte de la familia de los carbonoides de símbolo (Si), esto le otorga una facilidad de formar una variedad de compuestos. Se presenta en forma amorfa y cristalizada.

El silicio posee en principio dos electrones de valencia y se podría pensar en la formación de un compuesto molecular de SiO . Sin embargo, la molécula más estable en condiciones normales es sílice (SiO_2).

El término sílice es la forma corta y conveniente de nombrar el dióxido de silicio (SiO_2) y puede referirse a cualquiera de sus nueve formas del sistema terrestre natural o construida (polimorfos) (Erlindo, 2006).

La sílice en las aguas geotermales se puede encontrar en un rango de 1200 ppm, pero usualmente se encuentra en concentraciones menores a 700 ppm (Giggenbach, 1984).

La sílice es uno de los compuestos que más actúa entre una variedad de reacciones químicas que se producen dentro de las aguas geotérmicas. Estas diversas reacciones son en su mayoría asociadas con la interacción entre el agua y la roca de las cámaras en las que se ubica.

3.1.1. Interacción Agua – Roca

Las rocas generalmente se disuelven lentamente en agua, la mayoría de las reacciones de su disolución se producen fácilmente a temperaturas altas, la interacción agua-roca prolongada libera especies iónicas y produce una solución saturada de sílice.

El agua permanece en el acuífero durante un tiempo suficientemente largo, lo cual genera una innumerable cantidad de reacciones, siendo como agente fundamental, la temperatura en que se encuentran.

El cuarzo es el más estable y está presente en la mayoría de los sistemas geotérmicos. La reacción del cuarzo con el agua se puede expresar como:



En la mayoría de los depósitos de alta temperatura, las concentraciones de sílice acuosa son controladas por la solubilidad del cuarzo (Fournier & Rowe, 1966).

3.1.2. Tipos de Rocas que Interactúan con el Agua Geotérmica

El agua que se encuentra en la superficie a través del tiempo va infiltrándose en la tierra obteniendo propiedades químicas por la interacción que se da con las diversas rocas que existen en el manto terrestre en el transcurso desde la superficie hasta el manto acuífero geotérmico, dando como resultado el agua geotérmica.

Los sistemas geotérmicos de alta entalpia normalmente se encuentran asociados a sistemas volcánicos. Los dos tipos de rocas volcánicas más importantes son andesita y basalto.

- **Roca Andesita**

La andesita es una roca ígnea volcánica de composición intermedia. Su composición mineral comprende generalmente plagioclasas y varios otros minerales ferromagnésicos como piroxeno, biotita y hornblenda. También puede haber cantidades menores de sanidina y cuarzo. Su composición se observa en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Composición Química de la Andesita.

Compuestos	Porcentaje %
SiO ₂	58,70
TiO ₂	0,88
Al ₂ O ₃	17,24
Fe ₂ O ₃	3,31
FeO	4,09
MnO	0,14
MgO	3,37
CaO	6,88
Na ₂ O	3,53
K ₂ O	1,64
P ₂ O ₅	0,21

- **Roca Basalto**

El basalto es una roca ígnea volcánica de color oscuro, rica en silicatos de magnesio y hierro, es una de las rocas más abundantes en la corteza terrestre. Está formado por abundantes minerales oscuros como el piroxeno y la olivina, que hacen que el basalto sea de color gris o negro obscuro. El basalto también tiene cantidades menores de minerales de color claro como el feldespato y el cuarzo. Está constituida por diversos compuestos como lo presenta la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Composición Química del Basalto.

Compuestos	Porcentaje %
SiO ₂	49,97
TiO ₂	1,87
Al ₂ O ₃	15,99
Fe ₂ O ₃	3,85
FeO	7,24
MnO	0,20
MgO	6,84
CaO	9,62
Na ₂ O	2,96
K ₂ O	1,12
P ₂ O ₅	0,35

Algunos minerales y grupos de minerales importantes constituyentes de estas rocas volcánicas son:

- **Olivino**

El olivino es una roca constituida por un grupo de minerales, la principal solución sólida del grupo es entre forsterita (Mg_2SiO_4) y fayalita (Fe_2SiO_4).

- **Epidota**

La epidota se encuentra en el grupo silicato un mineral sorosilicatado de calcio, aluminio y hierro, que responde a la fórmula $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$.

El término epidota hace referencia a un grupo de minerales entre los que se incluye un mineral con el mismo nombre. Los minerales más comunes de este grupo son los que forman la serie isomórfica entre el hierro y el aluminio:

- Zoisita $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
- Clinozoisita $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
- Epidota $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$

También hay otros como:

- Piamontita $\text{Ca}_2(\text{Al}, \text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
- Allanita $(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Y})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+})(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$

- **Ortopiroxeno**

El ortopiroxeno es un mineral del grupo de piroxenos cristalizados entre un término magnésico y otro férrico, estos se presentan en la Tabla 3.3. A este término intermedio de solución sólida se le denomina hiperstena.

Tabla 3.3 Fórmula de los Diversos Compuestos del Ortopiroxeno.

Nombre del Mineral	Fórmula Química
Donpeacorita	$\text{Mn}^{2+}\text{Mg}(\text{SiO}_3)_2$
Enstatita	MgSiO_3
Ferrosilita	$(\text{Fe}^{2+})_2(\text{SiO}_3)_2$

- **Clinopiroxeno**

Es un mineral compuesto por TiO_2 , Al_2O_3 y CaO , que dan lugar a patrones muchos más complejos, constituidos por varios anillos.

Tabla 3.4 Fórmula de los Diversos Compuestos del Clinopiroxeno.

Nombre del Mineral	Fórmula Química
Egirina	$\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Augita	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6$
Clinoenstatita	MgSiO_3
Clinoferrosilita	$\text{Fe}^{2+}\text{SiO}_3$
Diópsido	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
Esseneita	$\text{CaFe}^{3+}\text{AlSiO}_6$
Grossmanita	$\text{CaTi}^{3+}\text{AlSiO}_6$
Hedenbergita	$\text{CaFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Jadeíta	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$
Jervisita	$\text{NaScSi}_2\text{O}_6$
Johannsenita	$\text{CaMn}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Kanoíta	$\text{MnMg}(\text{SiO}_3)_2$
Kosmoclór	$\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$
Kushiroita	$\text{CaAl}(\text{AlSiO}_6)$
Namansilita	$\text{NaMn}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Natalyita	$\text{NaV}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$
Petedunnita	$\text{CaZnSi}_2\text{O}_6$
Pigeonita	$(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Ca})\text{SiO}_3$
Espodumena	$\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

3.2. Formas de la Sílice

- La forma de sílice cristalina se presenta principalmente en tres formas:
 - Cuarzo
 - Cristobalita
 - Tridimita
- La sílice amorfa (sin estructura definida)
 - Sílice gel, con contenido de agua de 20% a 30%
 - Sílice gelatinosa, que aparece en solución como agregado
 - Sílice coloidal, que se encuentra disuelta en el agua con partículas de dimensiones entre 10^{-3} a 10^{-6} mm
 - Ópalo, forma natural más común con menos de 12% de agua

- Sílice vítrea, preparada con su enfriamiento de sílice fundida.

➤ Estado acuoso

- El ácido ortosilícico es la forma principal en soluciones saturadas con pH menor de 9 (Melgar & Torres, 2008).

3.3. Composición Química del Agua Geotérmica

El agua geotérmica surge de un sistema geotérmico que está compuesto de rocas calientes y agua caliente, conocido comúnmente como reservorio. Se estima que la edad de los reservorios está en un rango de 0,1 a 1 millón de años (Grindley, 1965; Browne, 1979; Arehart et al., 2002), el agua que se encuentra tiene un tiempo de circulación de 10,000 años, desde la superficie terrestre hasta el sistema geotérmico (Arnórsson, 1995).

El agua geotérmica está compuesta esencialmente de agua meteórica, que es el resultado del contacto del agua y las rocas que se encuentra en el sistema geotérmico, o agua de mar y en algunos casos es una mezcla de los dos, también contiene cantidades significativas de componentes volátiles magmáticos. El reservorio esta entre 5 Km a 8 Km de profundidad (Klein et al., 1977; Bibby et al., 1995) donde la temperatura puede estar a 400 °C o más (Kissling & Weir, 2005). La composición química del agua geotérmica varía dependiendo de la zona de la cual se extrae, como lo muestra la Tabla 3.5.

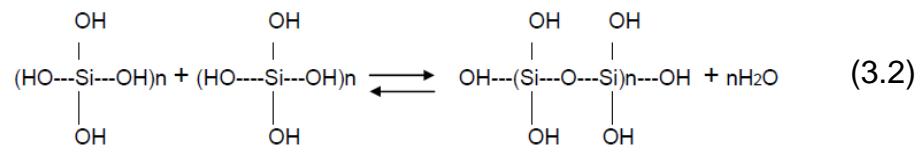
Tabla 3.5 Composición Química del Agua Geotérmica.

Lugares	San Jacinto Tizate	Momotombo
Composición	Concentración (ppm)	Concentración (ppm)
Cl ⁻	4199.5	3026
Na ⁺	2316.9	1764
SiO ₂	914.63	361
K ⁺	416.12	277
B	49.0	30
Mg	0.029	0.2
SO ₄ ²⁻	24.1	137
Ca ²⁺	26.15	68.4
H ₂ S	0.103	0
F ⁻	1.25	0
CO ₂	20.49	27.7

Fuente: Gerencia de reservorio, San Jacinto Tizate.

3.4. Polimerización de la Sílice en Solución Acuosa

La sílice disuelta se polimeriza lentamente a una suspensión coloidal como lo describe la reacción:

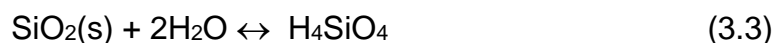


En la polimerización se forman dímeros, trímeros, tetrámeros y polímeros de bajo peso molecular (oligómeros) los cuales aumentan de tamaño hasta formar micelas terminando el proceso al formar coloides que dependiendo de su abundancia y estabilidad pueden o no flocular y formar un precipitado de sílice por medio de un proceso de nucleación homogénea. Este proceso depende de factores como la temperatura, pH, tensión superficial, radio de la partícula, concentración de sílice reactiva y salinidad (Melgar & Torres, 2008).

3.4.1. Incrustación

El término incrustación se refiere en general al depósito de minerales provenientes del agua geotérmica o salmuera que contiene moléculas en suspensión, que no pueden ser disueltas en el agua por estar sobresaturada con respecto a ese mineral. Cada sistema geotérmico tiene diferentes problemas de incrustación, debido a la distinta composición, cantidad y carácter físico del agua geotérmica.

La incrustación de sílice depende de varias condiciones, como son la concentración del ácido silícico, la temperatura y el pH de la solución. El ácido silícico monomérico (H_4SiO_4) es un ácido débil que proviene de la siguiente reacción:



Sin embargo, puede ser ionizado parcialmente como H_3SiO_4^- en una solución alcalina, como se muestra en la reacción:



Por otra parte, el ácido silícico puede considerarse como un grupo de cuatro radicales OH^\cdot , ligados a un átomo de Silicio ($\text{Si}(\text{OH})_4$). Este grupo, conocido como “silinol”, tiene la propiedad de formar polímeros, que son agregados desordenados

e irregulares de moléculas construidos mediante enlaces del tipo Si-O-Si, que se forman por colisión de moléculas con radicales -OH y -O-, conforme a la reacción:



Se ha observado experimentalmente que cuando el pH disminuye se inhibe la formación de los enlaces Si-O-Si y, por ende, la formación de polímeros, conforme a la siguiente reacción:



Por consiguiente, la polimerización del ácido silícico se detiene cuando el pH de la salmuera se ajusta del lado ácido. De esta forma la tasa de incrustación puede reducirse.

3.5. Factores que Afectan la Solubilidad de la Sílice

La solubilidad de la sílice depende de muchos factores, pero especialmente de factores como la temperatura y pH.

La temperatura es el factor esencial en el reservorio, y este a su vez afecta directamente el pH, debido a las altas temperaturas que se encuentran en el reservorio se da una innumerable cantidad de reacciones, teniendo como resultado en el reservorio un ambiente de pH ácido, lo cual ayuda a que se dé la saturación de la sílice.

Las concentraciones de sílice en depósitos geotérmicos se determinan por la temperatura del yacimiento (Figura 3.1). Cuando el depósito de agua sube a la superficie, se reduce por despresurización y se enfría y en el proceso emite calor el vapor que se forma. La formación de vapor aumenta la concentración de sílice en el agua. Esto hace que la sílice que se encuentra en el agua se reconcentre volviéndola sobresaturada por ende aumentando su índice de saturación

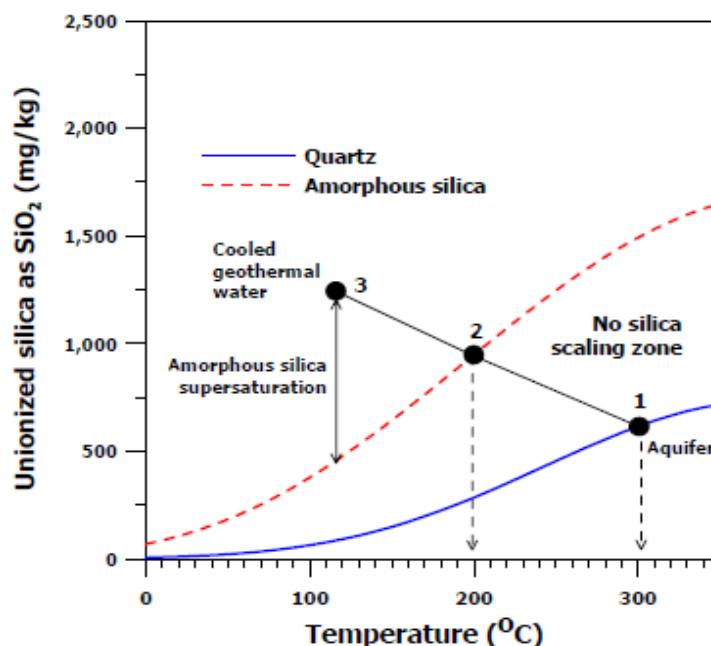


Figura 3.1 Solubilidad de la Sílice con Respecto a la Temperatura.

Fuente: Erlindo2006.

La sílice sólo precipita a una velocidad apreciable si los efectos del enfriamiento y la formación de vapor de agua son suficientes para producir sílice sobresaturada. Con el fin de prevenir la deposición de sílice amorfa en instalaciones geotérmica, es común mantener su temperatura por encima de la que corresponde, para evitar el aumento del índice de saturación de la sílice. Esto lo limita la cantidad de calor que se puede extraer del fluido obtenido de los pozos de producción. Por tanto, al enfriar, la concentración de la sílice sobre pasa los niveles de índice de saturación provocando sobresaturación. Las solubilidades de sílice se han investigado numerosas veces en una amplia gama de temperaturas, presiones y composiciones de solución que se resumen en las obras de Chan (1989) y Gunnarsson & Arnórsson (2000).

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente, la temperatura actúa sobre el agua geotérmica, y este a la vez afecta el pH del agua del reservorio. En el momento en que el agua geotérmica es extraída se produce el flasheo provocando que compuestos como CO_2 y H_2S se separen del agua, pasando a un estado gaseoso, provocando un cambio de pH en el agua (salmuera), al cambiar el pH de ácido a básico, la cinética de polimerización se aumenta, junto con la disminución de temperatura, provocando la precipitación de la sílice.

3.6. Método Analítico de la Sílice

Para la determinación de la concentración de la sílice, existen varios métodos como son: la espectrofotometría, la gravimetría y absorción atómica. Cada uno de los métodos se realiza de forma diferente que serán explicados a continuación.

3.6.1. Espectrofotometría

La espectrofotometría es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en disolución. Se basa en que las moléculas absorben radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de la forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se hace uso de un espectrofotómetro, donde se selecciona la longitud de onda que pasa por la solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma.

Un espectrofotómetro es un instrumento espectroscópico que emplea un monocromador o un policromador junto con un transductor, para transformar la intensidad de la radiación en señales eléctricas. Este permite hacer mediciones de la relación entre la radiación de dos rayos, que es el requisito para medir la absorbancia.

La espectrofotometría UV y visible es una de los métodos más utilizados para el estudio de equilibrio químico y cinético. El principal referente de dicho método es la longitud de onda seleccionada, tomando en cuenta los valores de absorptividades, se obtienen las concentraciones aplicando la ley de Beer. El método se debe de poner a prueba si sigue la ley de Beer, para esto se tiene que medir las absorbancias de soluciones patrón y elaborar un gráfico absorbancia vs concentración; jamás deberá suponerse de antemano que el proceso sigue una relación lineal.

Para que el método se pueda llevar a cabo, este necesita una mezcla de concentraciones conocidas de los reactivos, con el cual se logra obtener el espectro de la mezcla de reacción una vez que alcancen el equilibrio.

Análisis por Espectrofotometría con Molibdato de Amonio

Este análisis se basa en la reacción de molibdato de amonio a pH entre 1 y 2 con la sílice y cualquier fosfato presente para producir ácidos heteropólicos. Se agrega el ácido oxálico para destruir el ácido molibdofosfórico pero no el ácido molibdosilícico.

La intensidad de color amarillo producido, es proporcional a la concentración de sílice reactiva al molibdato.

Análisis de Espectrofotometría de Sílice Monomérica

Este análisis consiste en conocer la sílice monomérica que aún no ha polimerizado, para ello se es necesario preparar la muestra haciendo uso de ácido clorhídrico, siendo el pH de la muestra un pH ácido, esto evita que en la muestra se dé la polimerización. En el momento del análisis se hace uso de ácido molibdato con el cual se obtiene un color amarillo, la intensidad del color es proporcional a la concentración sílice monomérica que se encuentre (Jacobs Company).

3.6.2. Análisis por Espectrofotómetro de Absorción Atómica

Los principios teóricos de la absorción atómica fueron establecidos en 1840 por Kirchhoff & Bunsen en sus estudios del fenómeno de auto-absorción en el espectro de los metales alcalinos y alcalinos térreos.

La base de la Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA) la entregó Kirchhoff al formular su ley general: « *cualquier materia que pueda emitir luz a una cierta longitud de onda también absorberá luz a esa longitud de onda* ». El significado práctico de esto fue recién desarrollado en 1955 por el australiano Walsh, apareciendo los primeros instrumentos comerciales a principios de 1960.

El átomo consiste de un núcleo y de un número determinado de electrones que llenan ciertos niveles cuánticos. La configuración electrónica más estable de un átomo corresponde a la de menor contenido energético conocido como “estado fundamental”.

Si un átomo que se encuentra en un estado fundamental absorbe una determinada energía, éste experimenta una transición hacia un estado particular de mayor energía. Como este estado es inestable, el átomo regresa a su configuración inicial, emitiendo una radiación de una determinada frecuencia.

La frecuencia de la energía radiante emitida corresponde a la diferencia de energía entre el estado excitado (E_1) y el estado fundamental (E_0) como se encuentra descrito en la ecuación de Planck:

$$E = E_1 - E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.7)$$

h = Constante de Planck

ν = Frecuencia

c = Velocidad de luz

λ = Longitud de onda

Según la teoría atómica, el átomo puede alcanzar diferentes estados y de cada uno de ellos emitir una radiación característica, obteniéndose así un espectro atómico, caracterizado por presentar un gran número de líneas discretas. En absorción atómica es relevante solamente aquella longitud de onda correspondiente a una transición entre el estado fundamental de un átomo y el primer estado excitado y se conoce como longitud de onda de resonancia.

De la Ecuación de Planck, se deduce que un átomo podrá absorber solamente radiación de una longitud de onda (frecuencia) específica. En absorción atómica interesa medir la absorción de esta radiación de resonancia al hacerla pasar a través de una población de átomos libres en estado fundamental. Estos absorberán parte de la radiación en forma proporcional a su concentración atómica.

La relación entre absorción y concentración se encuentra definida en la ley de Lambert-Beer.

Como la trayectoria de la radiación permanece constante y el coeficiente de absorción es característico para cada elemento, la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes.

Análisis del Método de Azul Heteropoli

La sílice reacciona con el molibdato de amonio en condiciones ácidas en pH 1.2 aproximadamente para producir heteropoliácidos como son:

- Silicomolibdato
- Fosfomolibdato
- Arsenomolibdato

Los heteropoliácidos son complejos de color amarillo intenso. Al cual se le adiciona ácido oxálico para destruir la interferencia del ácido molibdofosfórico, pero no al ácido silicomolibdato. El ácido molibdosilicato que es de color amarillo es reducido con ácido aminonaftolsulfónico para formar un complejo azul (1-amino-2-naftol sulfónico y sulfito de sodio) cuya absorbancia se mide a 810 nm.

3.6.3. Gravimetría

La gravimetría es un conjunto de técnicas en las que se mide la masa de un producto para determinar la masa de un analito presente en una muestra. Se subdividen en dos grupos.

Métodos de Precipitación

La especie a determinar se precipita mediante un reactivo que da lugar a un producto poco soluble, de composición química conocida o transformable en otro de composición química conocida.

Método de Volatilización

El analito o sus productos de descomposición se volatilizan a una temperatura adecuada. Luego se hace la pesada del producto o bien se determina el peso del residuo.

3.7. Tratamientos para Reducir la Incrustación de Sílice

Hay diversos tratamientos para reducir la precipitación de sílice con el objetivo de que este no provoque interferencias en la inyección de la tubería, en particular, la sílice precipita cerca del punto de inyección que dramáticamente puede reducir la velocidad de inyección. Los siguientes tratamientos tienen el objetivo de que no precipite en la línea de inyección.

3.7.1. Inyección de Ácido

Inyectar ácido es uno de los tratamientos comúnmente sugerido como una manera de reducir la precipitación de sílice (Klein, 1995). Al reducir el pH, la tasa de cinética de polimerización de sílice se reduce y, por lo tanto, la precipitación de sílice se reduce (Jungho et al., 2006).

3.7.2. Inyección de Ácido y Alkali

La inyección alternada de ácido y álcali es un tratamiento para bajar la saturación de sílice. La inyección de ácido reduce la velocidad cinética de precipitación de sílice reduciendo así la precipitación de sílice, y la voluntad de disolver calcita y minerales de sulfuro. La inyección inmediata de un fluido alcalino tiene como efecto disolver la sílice precipitada, y tal vez depositar calcita y minerales de sulfuro, resultando en un

pH relativamente neutro. La sílice es por lo tanto esperada para precipitar de distancia desde el punto de inyección (Jungho et al., 2006).

3.7.3. Diámetro Pequeño de Múltiples Pozos de Inyección

La salmuera inyectada en el pozo de inyección se precaliente mediante el uso de pozos con tuberías de diámetro pequeño (2.5 cm a 7.5 cm) y las tasas de inyección lenta (menos de 10 L/s.) Cuando la salmuera llega al punto de inyección, la temperatura de la salmuera es lo suficientemente caliente para evitar la precipitación de sílice, preservando así la permeabilidad de la roca del yacimiento cerca del punto de inyección (Sanyal et al., 2005).

3.7.4. Inhibidores

Estos son sustancias químicas que modifican el comportamiento de los fluidos geotérmicos y las velocidades de reacción de la incrustación cuando son adicionados en cantidades relativamente pequeñas. El objetivo de esto es el de limitar la incrustación, corrosión, riesgos de flujo y aspectos de seguridad (Gallup, 2005).

El conocimiento sobre la formación, localización e identificación de la incrustación tiene un impacto crucial en la productividad del campo geotérmico. Por lo tanto, nuevos métodos e inhibidores son desarrollados y propuestos continuamente en la literatura comercial. En este apartado las consideraciones económicas son muy importantes dados los volúmenes de consumo que se pueden alcanzar. El costo de un inhibidor bajo condiciones de operación es determinado en buena proporción tanto por su estabilidad química como por su eficiencia como agente de control.

3.8. Descripción del problema

3.8.1. Descripción del Proceso Geotérmico de Re-inyección de Agua

La planta San Jacinto Tizate cuenta con ocho pozos productores (Figura 3.2), de ellos se obtiene un fluido bifásico (agua – vapor) que recorre desde el reservorio hacia la superficie de la tierra una distancia aproximada entre 2,000 m a 3,000 m. El fluido de interés en el estudio de la incrustación de sílice es el agua (salmuera).

Los pozos dirigen el fluido bifásico a través de tuberías hacia un separador ciclónico, antes de llegar al separador, las tuberías de los pozos se unen, para entrar en un sólo flujo al separador ciclónico. En la planta se encuentran tres separadores

ciclónicos de dimensiones diferentes, cada uno se alimenta de una cantidad de pozos productores diferentes como se muestra en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Flujos de los Separadores.

Separador Ciclónico	Número de Pozos Productores	Caudal (Tonelada/h)
1	2	451
2	4	1,108
3	2	366
Caudal Total		1,925

Fuente: Gerencia de reservorio, San Jacinto Tizate.

El fluido bifásico entra al ciclón (Figura 3.3) en donde se separan el agua y el vapor, el vapor va hacia las turbinas para la producción de energía y el agua hacia las tuberías de re-inyección. El agua (salmuera) que es obtenida del separador ciclónico es transportada por tuberías a un pozo re-inyector, estos pozos se encuentran a una distancia de unos 500 m a 3,000 m, y tienen aproximadamente una profundidad de 2,000 m.

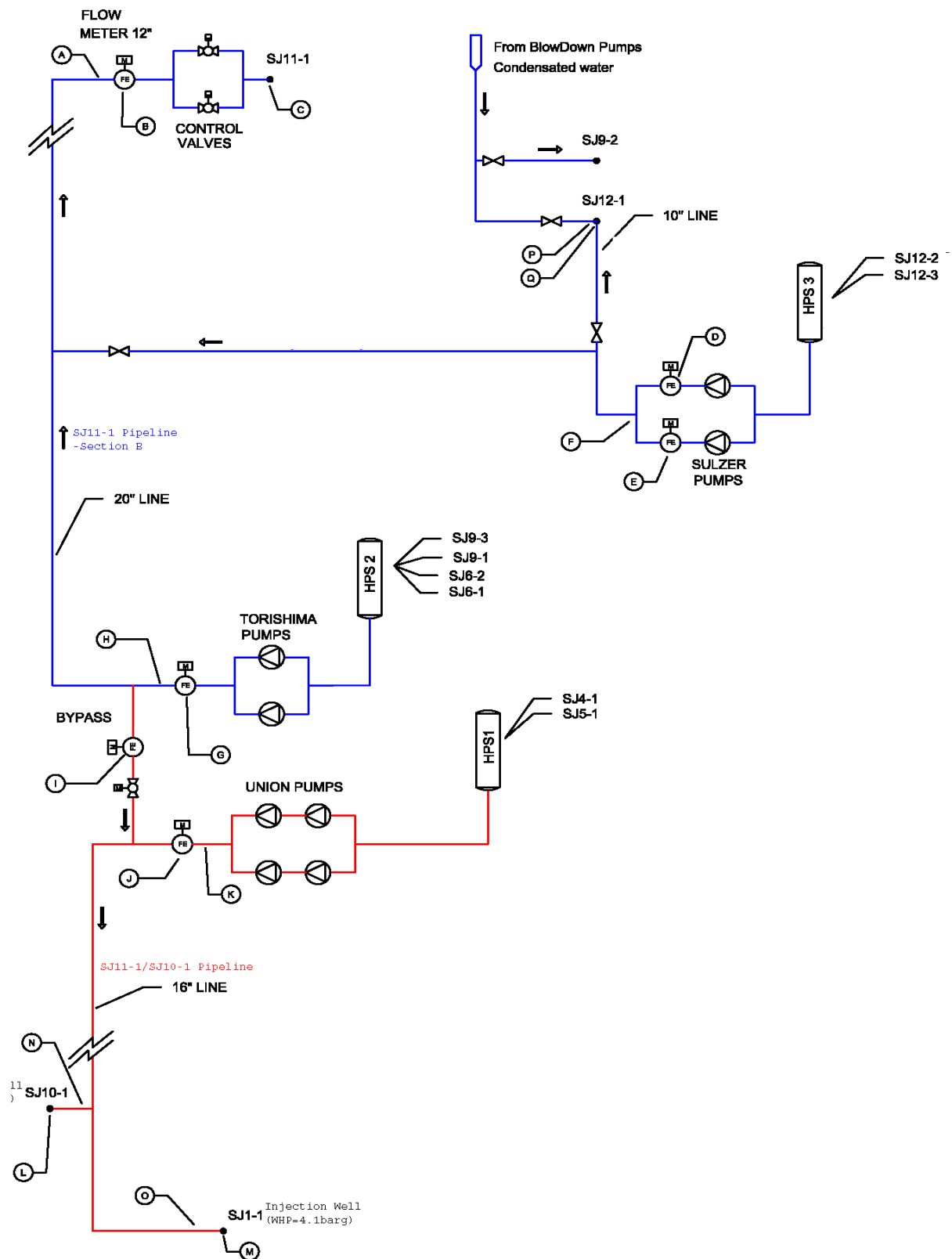


Figura 3.2 Diagrama de los Pozos (Planta San Jacinto Tizate).

Fuente: Gerencia de reservorio, San Jacinto Tizate.

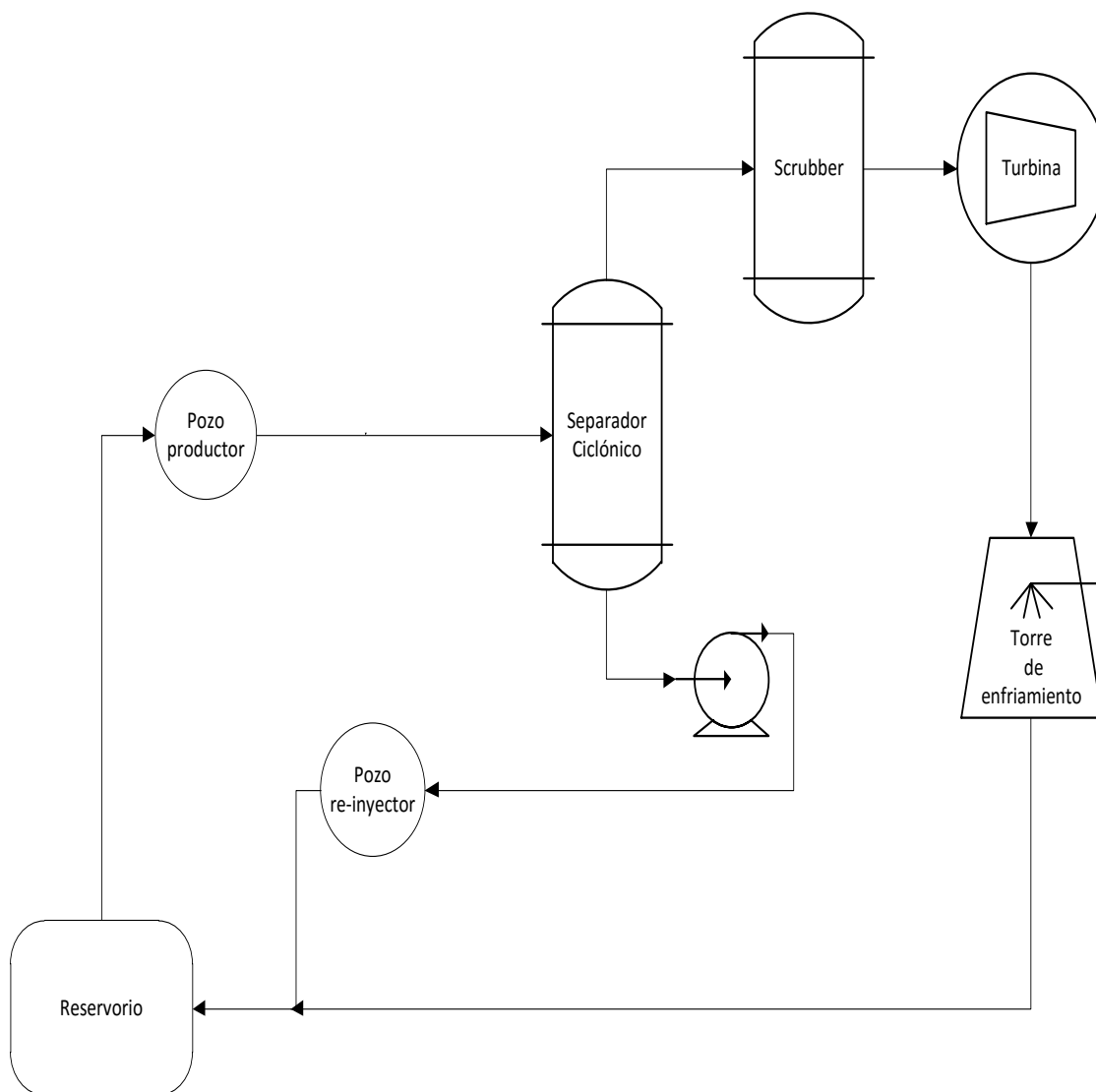


Figura 3.3 Flujograma del Proceso Geotérmico.

3.8.2. Problemática a Resolver

En la planta San Jacinto Tizate, el Separador Ciclónico N°3 (Figura 3.4) es alimentado por pozos productores que contiene altas concentraciones de sílice como lo demuestra la Tabla 3.7 y se encuentra en la plataforma SJ12 donde están ubicados los pozos de mayor concentración de sílice como son SJ12-2 y SJ12-3.

Tabla 3.7 Concentración de Sílice en los Pozos Productores.

Separadores Ciclónicos	Pozos Productores	SiO₂ (ppm)	Fecha de Toma de Muestra
Separador Ciclónico 1	SJ4-1	558.00	02-may-13
		548.27	04-dic-13
		513.40	19-mar-14
	SJ5-1	881.00	02-may-13
		818.34	04-dic-13
		909.50	19-mar-14
Separador Ciclónico 2	SJ6-1	435.90	06-sep-13
		503.80	05-dic-13
		502.30	19-mar-14
	SJ6-2	699.00	02-may-13
		692.08	05-dic-13
		694.90	19-mar-14
	SJ9-1	601.00	30-abr-13
		397.18	04-dic-13
		444.70	20-mar-14
	SJ9-3	876.00	22-sep-12
		918.00	30-abr-13
		420.70	06-mar-14
Separador Ciclónico 3	SJ12-2	914.63	05-dic-13
		948.88	28-may-14
		886.00	18-jun-14
	SJ12-3	988.0	27-sep-13
		1,034.40	28-may-14
		944.00	18-jun-14

Fuente: Gerencia de reservorio, San Jacinto Tizate.

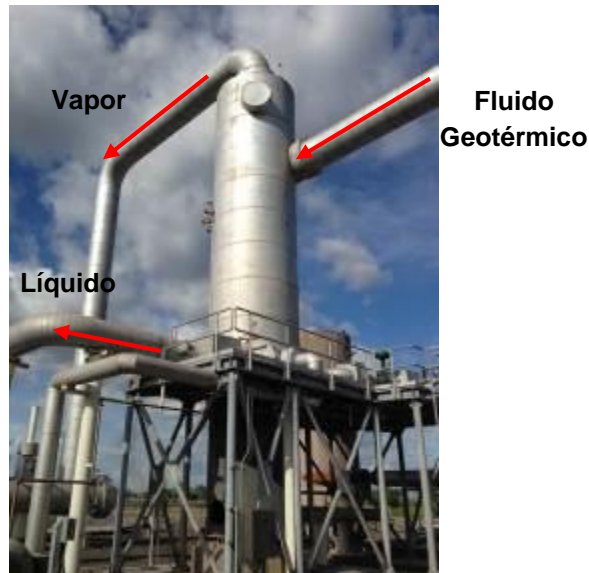


Figura 3.4 Separador Ciclónico N°3.

El Separador Ciclónico N°3 entró en servicio en enero 2013, éste es alimentado de fluido geotérmico por los pozos SJ12-2 y SJ12-3. El fluido geotérmico es separado en dos (Figura 3.3):

- Fase vapor, que se envía a las turbinas
- Fase líquida, que se envía a los pozos re-inyectores SJ11-1 y SJ12-1

Debido a que los pozos SJ12-2 y SJ12-3 son los que contienen la mayor concentración de sílice en el campo de San Jacinto (Tabla 3.7) se ha visto la necesidad de aplicar un sistema que permita reducir la precipitación de sílice en las líneas de reinyección. En el sistema del Separador Ciclónico N°3, antes de que el fluido entre al separador (Figura 3.5), se inyecta un inhibidor, este cumple con la función de mantener la sílice en solución y evitar que ésta precipite en lo que resta del proceso y por ende no se produzcan incrustaciones en las tuberías.

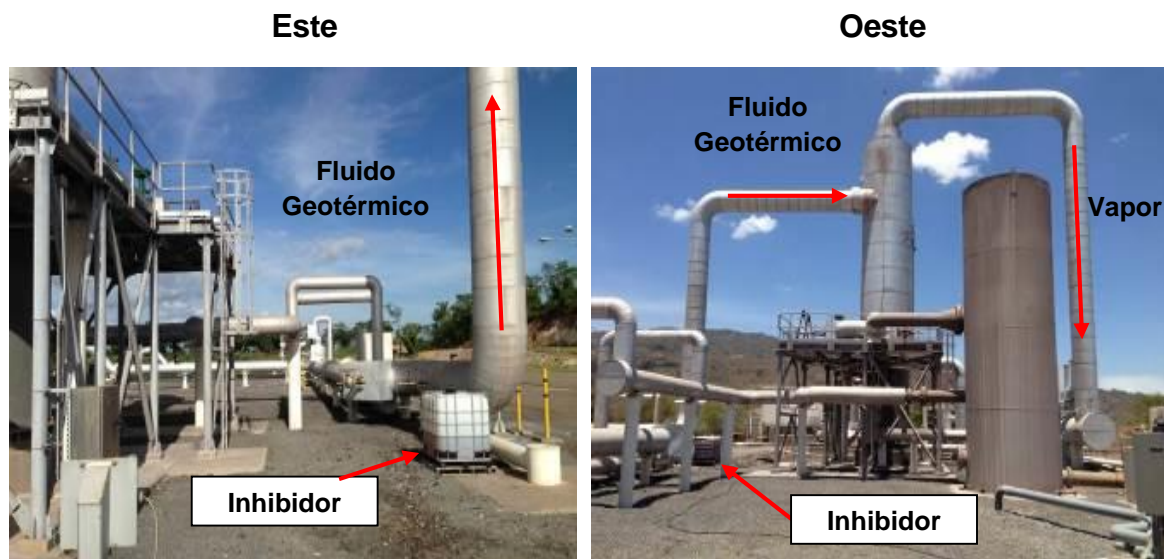


Figura 3.5 Sistema de Inhibición en el Separador Ciclónico N°3.

Pero este sistema de dosificación de inhibición no ha sido eficiente, debido a que se han encontrado incrustaciones en las tuberías con un espesor de 1,26 mm a 3,18 mm (Figuras 3.6 y 3.7) después de aproximadamente mes de haber sido revisada, lo cual ha llegado a provocar en poco tiempo estancamiento en las válvulas (Figura 3.6) que se encuentran en la línea de la tubería, provocando problemas operativos y pérdidas de producción.



Figura 3.6 Incrustación de Sílice en la Válvula Check.



Figura 3.7 Incrustación de Sílice en la Tubería.

4. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en la presente investigación se llevó a cabo con el fin de desarrollar un trabajo investigativo, desde la toma de muestra hasta la obtención de datos. Además, se realizó un diseño experimental para estudiar las variables que inciden en el sistema de inhibición.

4.1. Tipo de Estudio

De acuerdo al nivel de profundidad y alcance, se efectuó un estudio investigativo y experimental para evaluar la solubilidad y el efecto que tiene sobre la concentración de sílice que se encuentra depositado en las tuberías de la planta San Jacinto Tizate.

La investigación se realizó a nivel de campo y laboratorio, ejecutándose el muestreo de puntos seleccionados, trasladando dichas muestras al laboratorio de PENSA para hacerles los análisis correspondientes de sílice. También se efectuó un diseño experimental en donde se hicieron cambios en las variables de control para estudiar la concentración de la sílice a lo largo de la tubería.

4.2. Almacenaje de la Muestra

Las muestras fueron tomadas y almacenadas en recipientes de polipropileno o polietileno de alta densidad, no se deben usar frascos de vidrio ya que este se encuentra formado por un alto porcentaje de sílice que puede contaminar la muestra, especialmente a altas temperaturas y pH elevado.

4.3. Universo

Se definió como universo la zona el Tizate (Figura 4.1), fuente de abastecimiento de la Planta San Jacinto Tizate con la cual cuenta con ocho pozos productores.

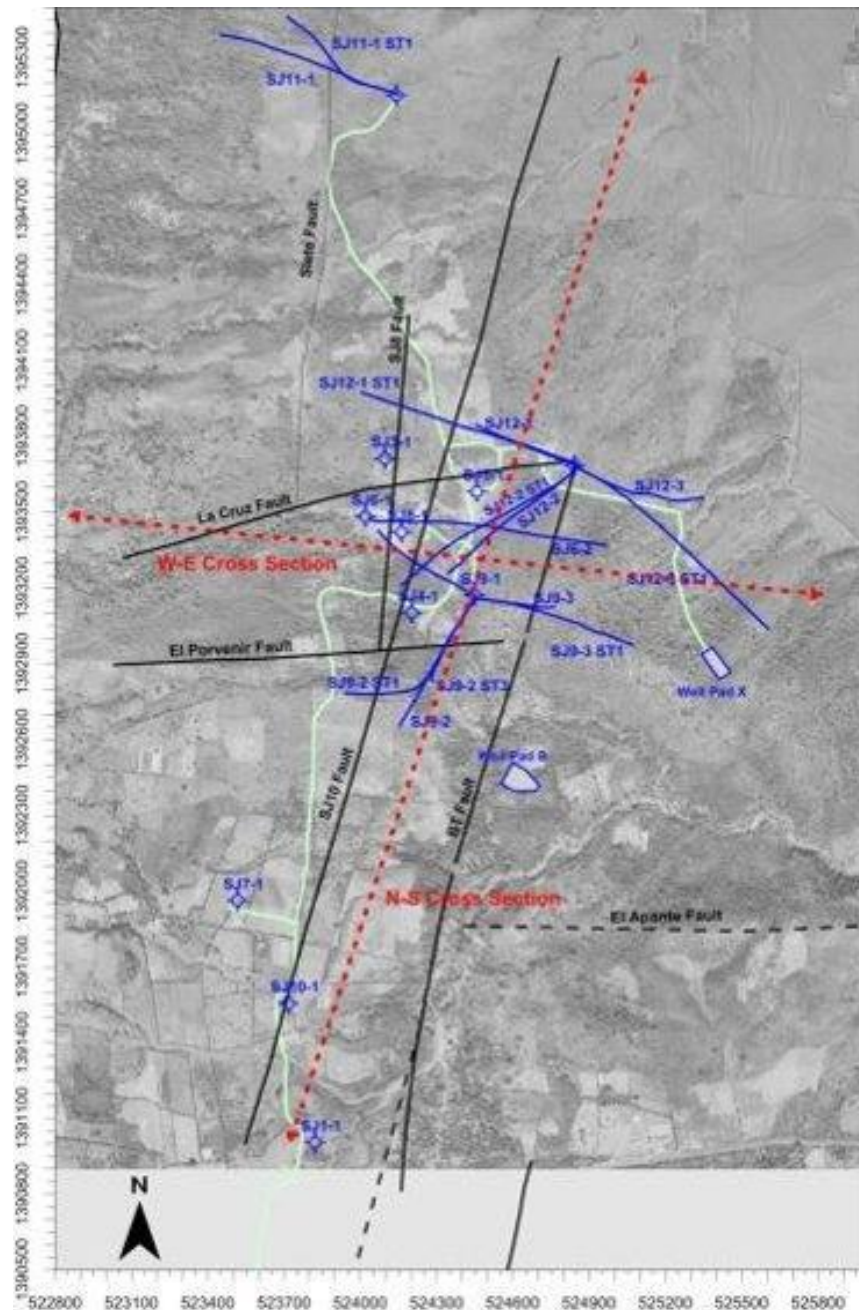


Figura 4.1 Mapa del Campo de San Jacinto Tizate.

Fuente: Gerencia de reservorio, San Jacinto Tizate.

4.4. Muestra

Inicialmente se seleccionaron siete puntos de muestreo, en los cuales se tomaron muestras durante los meses de junio y agosto de forma semanal. Para los meses de septiembre a diciembre se adicionaron dos puntos de muestreo a los ya seleccionados.

El objetivo de los puntos de toma de muestras en la línea es conocer el comportamiento de las concentraciones de sílice de los pozos productores y ver las concentraciones del trayecto de la línea hasta los pozos re-inyectores, también se buscó obtener el índice de saturación y las cantidades de sílice que pueden llegar a precipitar en el trayecto de la línea desde que el agua geotérmica sale del reservorio y llega a la superficie, hasta que es re-inyectada nuevamente al reservorio.

En la Figura 4.2 se puede observar los puntos de toma de muestras, estos se toman antes y después del punto de inhibición. El muestreo se realizó en la plataforma SJ12 en donde se encuentran los pozos productores SJ12-2 y SJ12-3, el pozo re-inyector SJ12-1, y el Separador Ciclónico N°3 en donde se toma muestra en la entrada y la salida, también se realizarán muestreos en la plataforma SJ11 en donde se encuentra la sección A del SJ11-1 y el pozo re-inyector SJ11-1.

Los puntos de muestras fueron seleccionados considerando que son las líneas en donde fluye la salmuera de los pozos productores de la plataforma SJ12 que será previamente re-inyectado en los pozos re-inyectores SJ11-1 y SJ12-1. Por la naturaleza del estudio, la muestra se caracteriza por ser no probabilística, de tipo dirigido o intencional, la cual, consiste en elegir unidades muestrales consideradas representativas y facilitadoras de la información necesaria (Pérez, 2004).

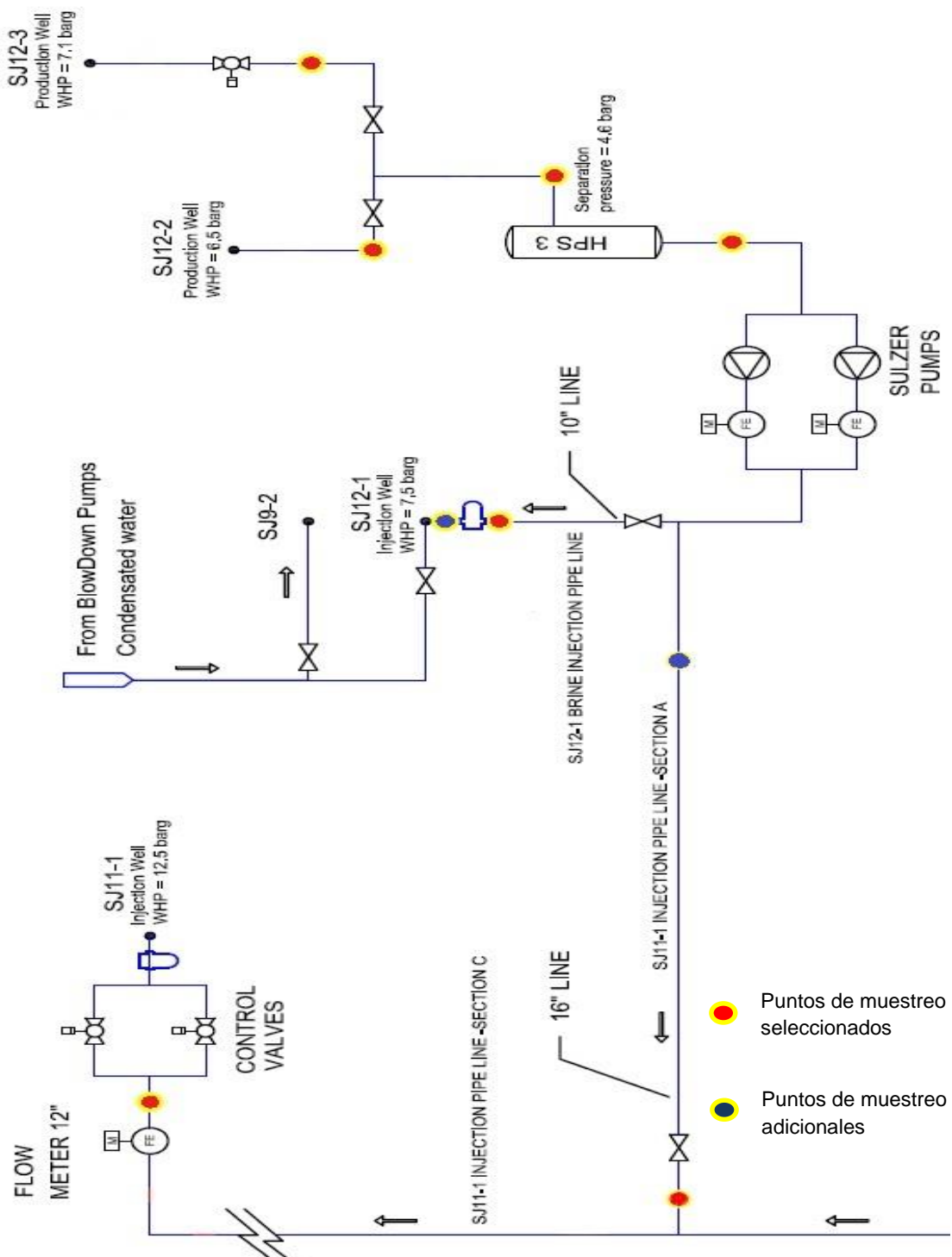


Figura 4.2 Puntos de Muestreo.

4.5. Método Investigativo

La presente investigación consiste en un estudio de campo y de laboratorio para evaluar la capacidad de solubilidad de la sílice teniendo algunas variables de estudio como diferentes tipos de inhibidores, la concentración del inhibidor, incrustación de sílice, concentración de la sílice total y sílice monomérica.

El análisis de sílice total ayuda a ver el comportamiento de la concentración de la sílice total a lo largo de la tubería, el cual sirvió para verificar que la química de la salmuera producida de los pozos productores SJ12-2 y SJ12-3 es constante, y el análisis de sílice monomérica, contribuye a diferenciar con respecto a la efectividad que tienen los diferentes tipos de inhibidores y dosis que se establecen en el diseño experimental en la concentración de sílice monomérica. Si se observa una declinación en la concentración de sílice monomérica en puntos de muestreo ubicados aguas abajo con respecto a puntos de muestreo aguas arriba eso indica que la sílice está polimerizando y por lo tanto tiende a precipitar.

También se desarrolló el análisis de cloruro para verificar que no exista ebullición significativa a lo largo de la línea de re-inyección que pueda incrementar la concentración de la sílice.

Posteriormente se revisó el elemento de flujo cada mes para observar cuales fueron los resultados de la variación de los factores tomando en cuenta su diámetro y espesor, así como también la válvula check para medir la formación existente o no existente de precipitado o incrustaciones de sílice.

El método utilizado es tipo cuantitativo ya que se analizó la solubilidad de la sílice a través de la formación de incrustaciones y su medición a través del método de análisis espectrofotométrico.

4.6. Variables de Estudio

La Tabla 4.1 presenta la lista de variables que se toman en cuenta en el estudio de la solubilidad de la sílice, como son la variable de control, variable manipulada y variable perturbadora.

Tabla 4.1 Variables de Estudio.

Factores	Variable de Control	Variable Perturbadora	Variable Manipulada
Tipo de Inhibidor			X
Dosis de Inhibidor			X
Temperatura		X	
Concentración de Sílice Total		X	
pH		X	
Tasa de Incrustación	X		
Concentración de Sílice Monomérica	X		

- **Variable Manipulada**

Sus niveles experimentales o condiciones de tratamiento son introducidos deliberadamente por el investigador para observar cómo afecta a la variable de control. Siendo ésta una variable independiente. Es el parámetro a través del cual se debe corregir las perturbaciones del proceso, colocándose un actuador para lograr estabilizar el sistema (Cosco, 2011).

- **Variable de Control**

Es el parámetro más importante, debiéndose mantener estable (sin cambios), pues su variación alteraría las condiciones requeridas en el sistema, su monitoreo es una condición importante para dar inicio al control (Cosco, 2011).

- **Variable Perturbadora**

Es el parámetro desestabilización del sistema por cambios repentinos afectando el proceso (Cosco, 2011).

4.7. Diseño Experimental

En esta investigación se deseaba encontrar un tratamiento que sea el más efectivo, donde se logre la mínima cantidad de incrustaciones de sílice posible en un determinado tiempo el cual sea aceptable en comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones (Guerra & Jacobo, 2012). Para ello se efectuó un diseño experimental el cual está conformado por 2 etapas:

- Dosis de inhibidor 1
- Prueba de inhibidor 2 e inhibidor 3

Los puntos de inyección de inhibidor están ubicados cerca de los cabezales de los pozos productores, y antes de la entrada del separador, como se muestra en la Figura 4.3.

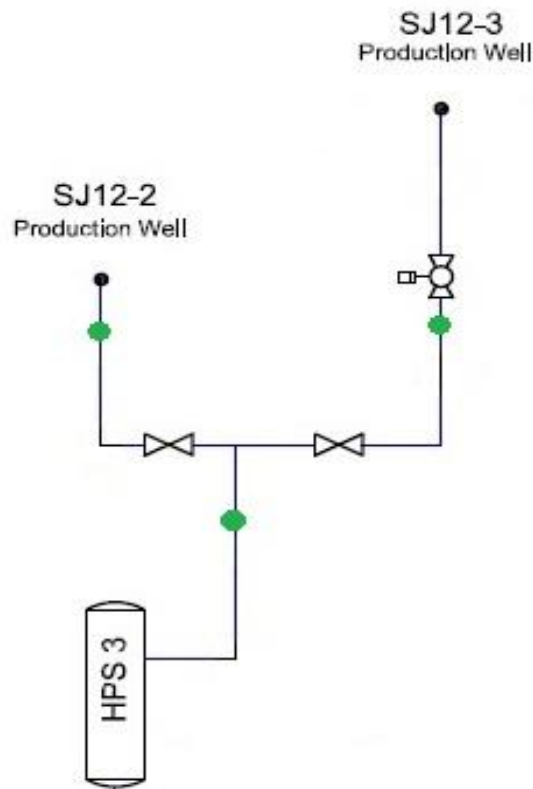


Figura 4.3 Puntos de Inyección de Inhibidor.

4.7.1. Dosis de Inhibidor 1

En la primera etapa se realizaron variaciones de dosis de inhibidor 1, en un tiempo determinado, estos cambios de dosis se efectuaron para observar el comportamiento de las variables control o variables respuestas que es la concentración de sílice total e incrustación de sílice en la tubería. En la Tabla 4.2 se presentan las variaciones que se realizaron.

Tabla 4.2 Variación de Dosis y Tiempo de Duración de Inhibidor 1.

Inhibidor	Dosis (mL/min)				Periodo	
	SJ12-2	SJ12-3	HPS-3 Inlet	Total	Fecha de Inicio	Fecha Final
Inhibidor 1	0	0	32	32	08/04/2013	13/06/2014
	0	28	22	50	13/06/2014	23/06/2014
	0	44	44	88	23/06/2014	10/07/2014
	44	44	0	88	10/07/2014	16/07/2014
	51	44	0	95	16/07/2014	19/09/2014

Las diferentes dosis del inhibidor 1 fueron suministradas por la empresa distribuidora. Las dosis fueron obtenidas haciendo uso del índice de saturación de la sílice, por ende, a través de esta investigación se realizó la actualización del índice de saturación en los puntos seleccionados.

4.7.2. Prueba de Inhibidor 2 e Inhibidor 3

Los inhibidores 2 y 3 fueron recomendados por consultores contratados por la Planta San Jacinto Tizate. También recomendaron sus dosis mediante sus índices de saturación.

Tabla 4.3 Dosis y Tiempo de Duración de los Inhibidores 2 y 3.

Inhibidor	Dosis (mL/min)				Periodo	
	SJ12-2	SJ12-3	HPS-3 Inlet	Total	Fecha de Inicio	Fecha Final
Inhibidor 2	33	17	0	50	19/09/2014	13/10/2014
Inhibidor 3	54	23	0	77	14/11/2014	02/12/2014

4.8. Método para Determinar la Concentración de Sílice

A continuación, se presentan los distintos métodos para determinar la concentración de sílice.

4.8.1. Método de Molibdato de Amonio (Sílice Total)

El método incluye la digestión alcalina para descomponer sílice polimérica. El molibdato amonio se encuentra a un pH de 1.2, reacciona con la sílice monomérica y cualquier fosfato presente para producir heteropoliácidos. El ácido oxálico se añade para destruir el ácido molibdofosfórico pero no el ácido molibdosilícico. La intensidad del color amarillo es proporcional a la concentración de "sílice-molibdato reactiva", y se analiza a 410 nm.

El método es aplicable a muestras acidificadas con concentraciones de sílice en el intervalo de 10 mg/L a 800 mg/L. Las concentraciones más altas se pueden determinar después de diluciones apropiadas.

El color y turbiedad interferirán si no se logra su eliminación por filtración o dilución. Los fosfatos, sulfuros y el ion férrico interfieren en la reacción de color. La adición de ácido oxálico elimina las interferencias de fosfato e iones férricos. El sulfuro puede ser eliminado mediante la adición de yodo y luego tiosulfato para eliminar el exceso de yodo.

4.8.2. Método de Sílice Monomérica

Es un método de mucha precisión en donde se hace uso de reactivos como ácido clorhídrico y molibdato de amonio ácido, con este método se obtiene la concentración de sílice que aún se encuentra en estado monomérico. La intensidad del color amarillo que se presenta es proporcional a la concentración de sílice monomérica. El método se lleva a cabo a una longitud de onda de 410 nm.

4.8.3. Método de las Adiciones del Estándar

Se realizaron patrones con una composición muy cercana a la de la muestra, como en este caso es sílice se utilizó una solución madre de silicio con una concentración de 1 000 mg/L, tomando en cuenta los pesos moleculares de la sílice y el silicio, con arreglos matemáticos se determinó la relación de que 1 mg/L de silicio equivaldría a 2,142 mg/L de sílice.

Curva de Calibración

Se miden las absorbancias de cada una de las soluciones patrones de sílice y se construye de esa forma la curva de calibración al graficar la absorbancia vs concentración de las soluciones patrón.

Las concentraciones de las soluciones patrones se estiman por medio de la ecuación de dilución, y se preparan tomando volúmenes de la solución madre cuya concentración es de 1 000 mg/L, y aforando posteriormente al volumen final del matraz.

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad (4.1)$$

Dónde:

C_1 = Concentración de la solución madre

C_2 = Concentración de la solución patrón

V_1 = Volumen de la alícuota de la solución madre

V_2 = Volumen a la que se diluirá la solución patrón

La pendiente de la curva de calibración es igual al producto de la absortividad y la longitud de la trayectoria de la radiación, por consiguiente, es un método empleado para obtener el factor de proporcionalidad entre absorbancia y concentración de las soluciones patrones. En las mismas condiciones y con los mismos instrumentos empleados para la medición de las soluciones patrones, se determinaron las concentraciones de las muestras.

5. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los nueve puntos de muestreo en la línea de producción y re-inyección del Separador Ciclónico N°3.

5.1. Concentración de Sílice de los Pozos Productores SJ12-2 y SJ12-3

Como primer paso se realizó monitoreo de la concentración de sílice total en los cabezales de los pozos productores (Tabla 5.1). El resultado es obtenido a través del método analítico de sílice total. Esta concentración es fundamental, así como también la presión en que se encuentra el cabezal para obtener el índice de saturación de la sílice en los pozos productores. Con estos resultados los consultores y proveedores de cada uno de los inhibidores establecieron las concentraciones de los tres inhibidores a evaluar, debido a que cada proveedor era un inhibidor diferente, y sus dosis lo obtenían a través de programas utilizando sus índices de saturación y en ocasiones la concentración de sílice.

Tabla 5.1 Concentración de Sílice de los Pozos Productores.

Fecha de Análisis y Muestreo	Pozos Productores							
	SJ12-2				SJ12-3			
	Flujo de Salmuera (tph)	SiO ₂ (ppm)	Presión Bar	T °C	Flujo de Salmuera (tph)	SiO ₂ (ppm)	Presión Bar	T °C
18-jun-2014	261	886	6.11	165.7	105	944	5.65	162.97
19-jun-2014	261	902	6.49	167.8	105	970	5.74	163.51
24-jun-2014	261	902	6.15	165.9	105	952	6.38	167.20
01-jul-2014	261	902	5.89	164.4	105	980	5.55	162.37
07-jul-2014	261	886	5.93	164.6	105	990	5.35	161.14
14-jul-2014	261	924	6.40	167.3	105	1034	5.90	164.45
21-jul-2014	261	906	6.40	167.3	105	1012	5.40	161.45
28-jul-2014	261	906	6.55	168.1	105	1038	5.35	161.14
04-ago-2014	261	894	6.04	165.3	105	1072	5.63	162.85
11-ago-2014	261	898	6.05	165.3	105	1000	5.44	161.70
27-ago-2014	261	878	6.01	165.1	105	970	5.59	162.61
01-sep-2014	261	866	5.93	164.6	105	986	5.37	161.27
08-sep-2014	261	868	5.96	164.8	105	956	5.39	161.39
17-sep-2014	261	870	5.78	163.7	105	968	5.54	162.31
22-sep-2014	261	918	5.93	164.6	105	1030	5.53	162.25
01-oct-2014	261	787	5.88	164.3	105	986	5.32	160.96

Fecha de Análisis y Muestreo	Pozos Productores							
	SJ12-2				SJ12-3			
	Flujo de Salmuera (tph)	SiO ₂ (ppm)	Presión Bar	T °C	Flujo de Salmuera (tph)	SiO ₂ (ppm)	Presión Bar	T °C
06-oct-2014	261	810	5.81	163.9	105	1073	5.83	164.04
13-oct-2014	261	892	5.60	162.7	105	1002	5.43	161.64
21-oct-2014	261	894	5.74	163.5	105	1032	6.50	167.83
27-oct-2014	261	874	5.60	162.7	105	950	5.53	162.25
03-nov-2014	261	884	5.79	163.8	105	992	5.45	161.76
17-nov-2014	261	890	5.78	163.6	105	992	5.53	162.25
19-nov-2014	261	896	5.83	164.0	105	1022	5.33	161.02
24-nov-2014	261	898	5.74	163.5	105	1034	5.35	161.14
01-dic-2014	261	904	6.12	165.7	105	1036	5.70	163.27

En la Tabla 5.1 se presenta los datos de flujo de salmuera, concentración de sílice total, temperatura y presión. Para el índice de saturación y solubilidad se necesita la concentración de sílice total y la temperatura que se obtiene mediante tablas termodinámicas haciendo uso de la presión.

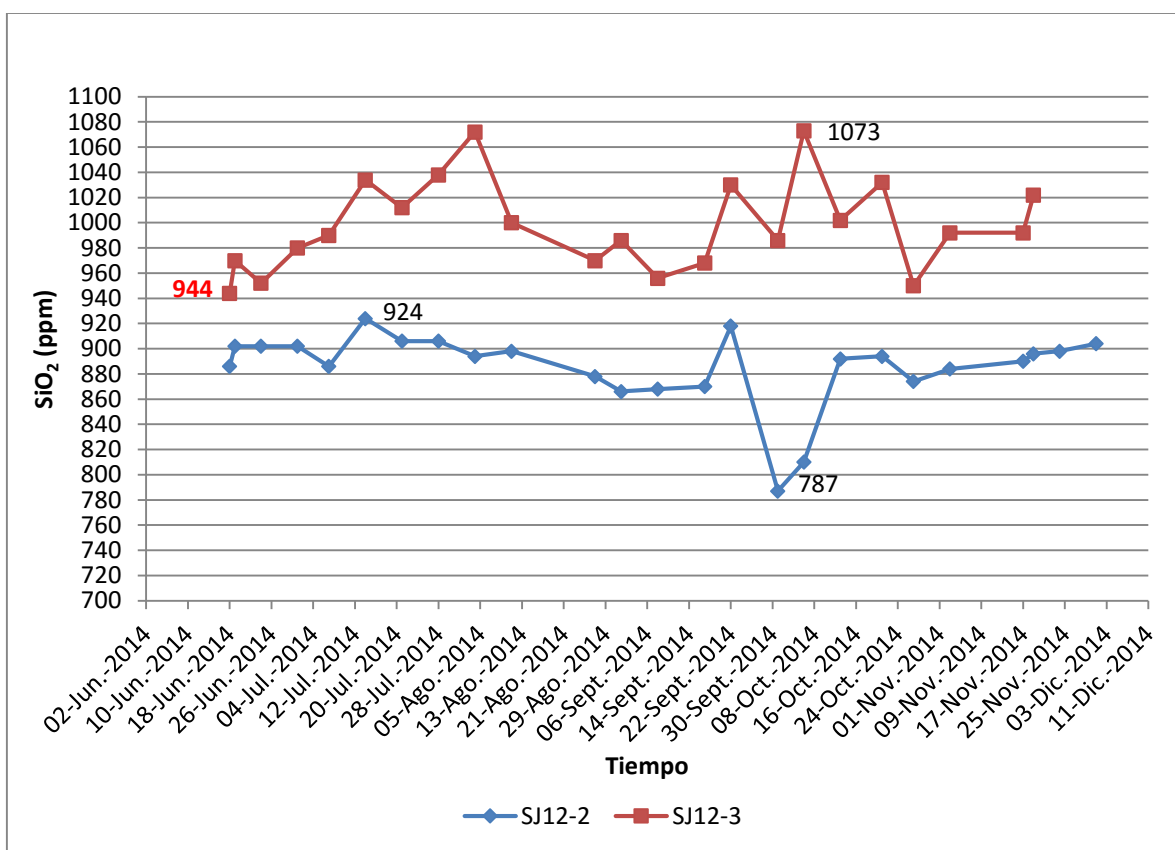


Figura 5.1 Concentración de Sílice SJ12-2 y SJ12-3.

En la Figura 5.1 se puede observar el comportamiento de la sílice de los pozos a través del tiempo, también se identifica la menor y mayor concentración registrada en cada uno de los pozos productores.

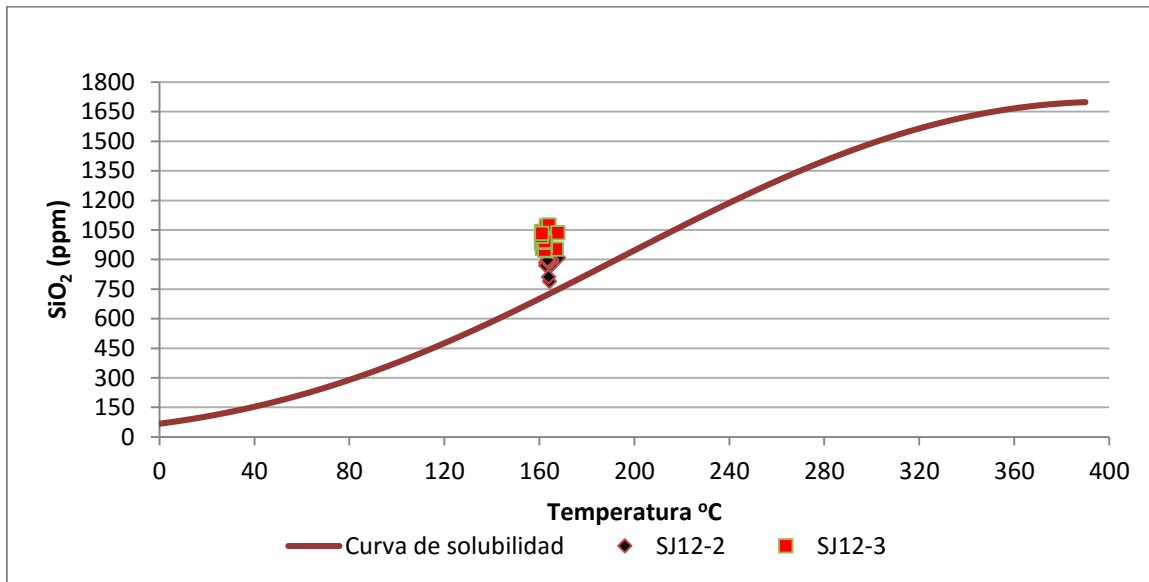


Figura 5.2 Solubilidad de Sílice en SJ12-2 y SJ12-3.

En la Figura 5.2 se observa la curva de solubilidad teórica de la sílice con respecto a la temperatura, con la cual se compara las concentraciones obtenidas con respecto a la temperatura del pozo en la que fue tomada cada muestra. Dicha comparación demostró que todas las muestras de sílice tomada de los cabezales de los pozos productores SJ12-2 y SJ12-3 están por encima de la curva de solubilidad, esto significa que se encuentran en un estado sobresaturado. Estos resultados dan a conocer que se puede estar desarrollando la formación de incrustación en las tuberías.

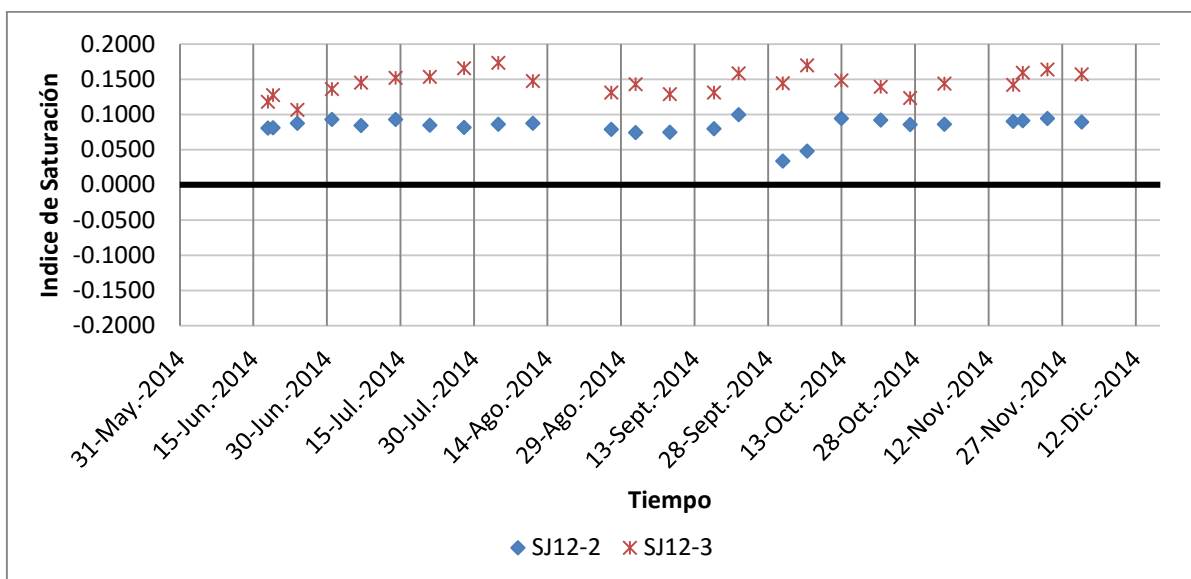


Figura 5.3 Índice de Saturación.

Retomando los datos obtenidos de la Figura 5.2, se relaciona la concentración real con la concentración teórica a una determinada temperatura, obteniendo el índice de saturación (Figura 5.3) en la que se tiene como resultados índices de saturación encima de cero, lo cual significa que los fluidos provenientes de ambos pozos se encuentran en estado sobresaturado. Los índices de saturación obtenidos son la referencia para indicar la dosis que se implementará de los tres inhibidores que se evalúan a lo largo de la tesis en los puntos de inyección de los cabezales de los dos pozos productores.

5.2. Concentración de Sílice en la Línea de la Tubería de Re-inyección

La concentración de sílice desde entrada del Separador hasta los pozos re-inyectores se muestra en la Tabla 5.2. Es un parámetro de importancia, ya que se observa el comportamiento de la sílice total y lo que llega a precipitar en el transcurso de la línea de la tubería hasta el punto re-inyección.

Tabla 5.2 Concentración de Sílice en la Línea del SJ11-1 y SJ12-1.

Fecha	SiO ₂ (ppm)				
	HPS-3 Inlet	HPS-3 Outlet	SJ12-1	SJ11-1 Sección A	SJ11-1
18/06/2014	870	922	-	894	880
24/06/2014	910	926	-	888	650
01/07/2014	902	936	-	916	723
07/07/2014	890	924	900	904	710

Fecha	SiO ₂ (ppm)				
	HPS-3 Inlet	HPS-3 Outlet	SJ12-1	SJ11-1 Sección A	SJ11-1
14/07/2014	936	970	935	930	583
21/07/2014	918	936	932	922	790
28/07/2014	908	922	916	850	738
04/08/2014	904	932	922	884	810
11/08/2014	908	932	912	922	788
13/08/2014	892	914	894	910	756
27/08/2014	908	924	904	912	762

La Tabla 5.2 presenta los puntos de referencia en el estudio. El HPS3-inlet es el punto de muestreo a la entrada del Separador Ciclónico N°3, en este punto el fluido bifásico está compuesto por los flujos de los pozos SJ12-2 y SJ12-3, la concentración de sílice que se obtiene en este punto es una concentración intermedia entre los dos pozos productores. En el punto HPS3-outlet es la salida del Separador, la concentración de sílice es mayor que a la entrada porque en el Separador ocurre un proceso de ebullición por la caída de presión, lo cual provoca que se un aumento de concentración. No hay datos iniciales del punto SJ12-1 debido a que estaba fuera de servicio.

Se realizó una gráfica para cada pozo re-inyector para ver el comportamiento de la sílice en la línea de la tubería desde la entrada del separador hasta los dos pozos re-inyectores.

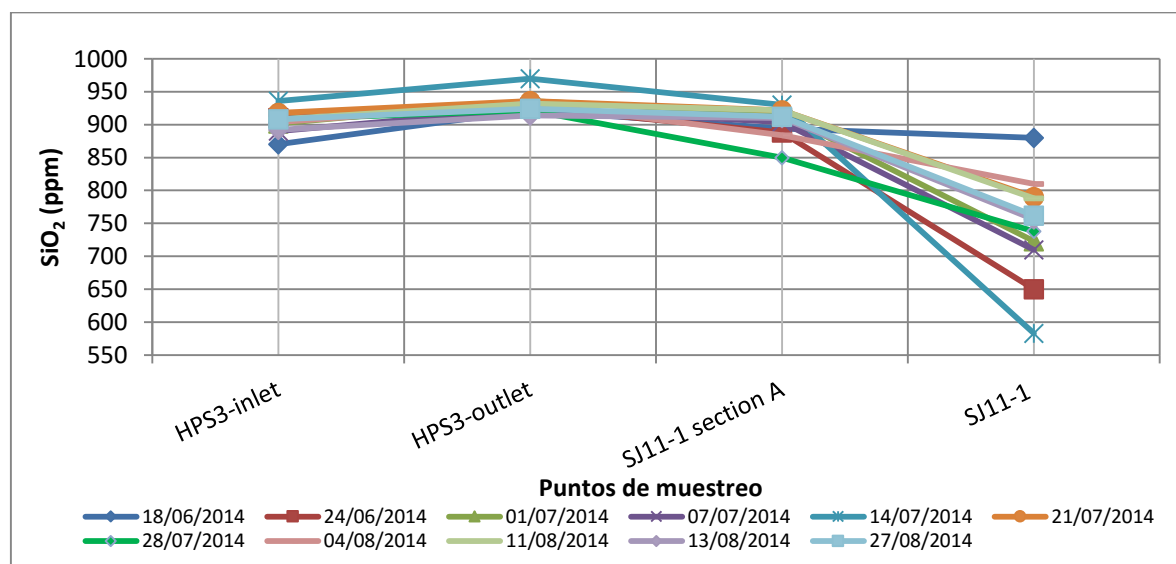


Figura 5.4 Línea de Re-inyección SJ11-1.

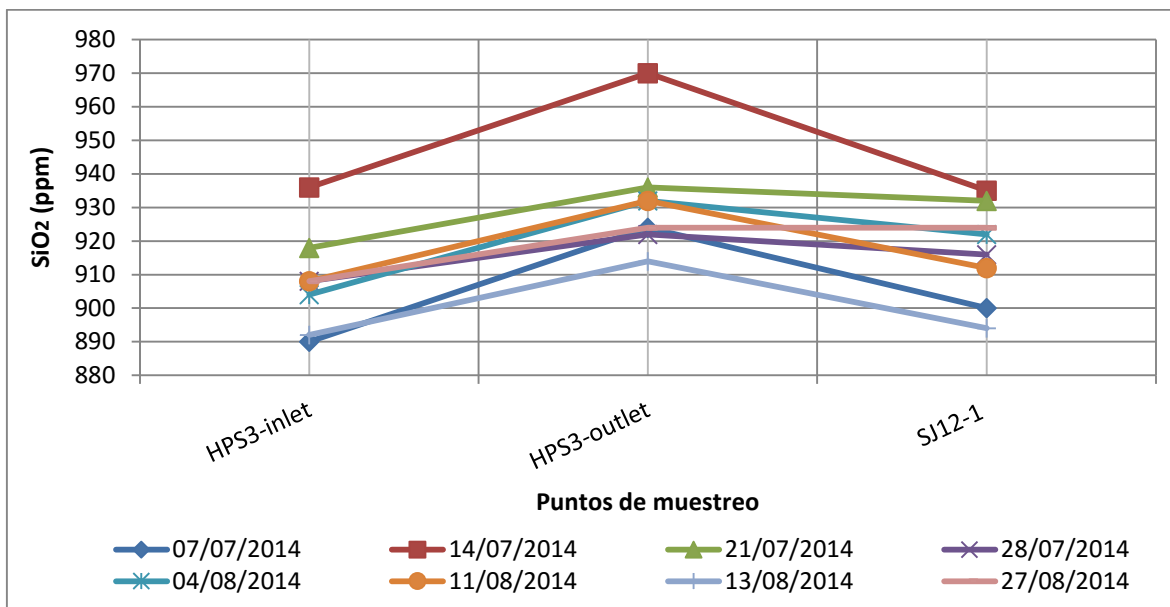


Figura 5.5 Línea de Re-inyección SJ12-1.

En las Figuras 5.4 y 5.5 se observan las concentraciones de sílice desde la salida del Separador Ciclónico N°3 hasta los pozos re-inyectores, tienen el mismo comportamiento de descenso, esto se detecta en el recorrido de la salmuera a lo largo de la línea que va hacia el pozo re-inyector, en donde se va depositando sílice lo cual al final da lugar a la formación de incrustaciones. Por otra parte, el declive que se observa en la Figura 5.4 al llegar al pozo re-inyector SJ11-1, se debe a que la salmuera que proviene del Separador Ciclónico N°3 se mezcla con la salmuera de los otros separadores ciclónicos que tiene bajas concentraciones de sílice, lo cual provoca que la sílice de la salmuera del Separador N°3 se diluya bajando la concentración de forma drástica.

5.3. Eficiencia de los Inhibidores (Prueba de Polimerización)

La prueba de polimerización consiste en comparar la sílice total y la sílice monomérica para determinar el grado de polimerización que sufre la sílice, de tal manera que entre menor sea esta diferencia, el desarrollo de la polimerización será menor. Así también se interpretará que si la sílice monomérica se mantiene constante a lo largo de la línea esto indica que no ocurre polimerización. Esta prueba es una respuesta que determinará la efectividad del inhibidor en uso ya que es inversamente proporcional a la polimerización, a menor grado de polimerización mayor efectividad.

Los datos obtenidos en las Tablas 5.3, 5.4 y 5.5 es un promedio de todos los resultados obtenidos en el tiempo de prueba inyección de cada inhibidor, los cuales demuestran la concentración de sílice polimerizada, haciendo la comparación de los resultados de los tres inhibidores, el que mejor resultado obtuvo fue el inhibidor 3 ya que en los puntos más importantes como son la entrada y salida del Separador Ciclónico N°3 y en los cabezales los pozos re-inyectores SJ12-1 y SJ11-1 las concentraciones de sílice polimerizada son más bajas en comparación a las concentraciones obtenidas con los otros inhibidores.

Tabla 5.3 Prueba de Polimerización de Inhibidor 1.

Punto de muestreo	Inhibidor 1		
	SiO ₂ Total ppm	SiO ₂ Monomérica ppm	SiO ₂ Polimérica ppm
SJ12-3	970	869	101
SJ12-2	872	786	86
HPS-3 Entrada	887	790	97
HPS-3 Salida	912	829	83
SJ12-1 Filtro	902	818	84
SJ12-1 Cabezal	899	772	127
SJ11-1 Cupón 7	903	838	65
SJ11-1 Sección A	893	825	68
SJ11-1	776	731	45

Tabla 5.4 Prueba de Polimerización de Inhibidor 2.

Punto de muestreo	Inhibidor 2		
	SiO ₂ Total ppm	SiO ₂ Monomérica ppm	SiO ₂ Polimérica ppm
SJ12-3	1023	933	90
SJ12-2	894	820	74
HPS-3 Entrada	910	799	111
HPS-3 Salida	941	851	90
SJ12-1 Filtro	936	863	73
SJ12-1 Cabezal	946	796	150
SJ11-1 Cupón 7	928	889	39
SJ11-1 Sección A	938	894	44
SJ11-1	846	812	34

Tabla 5.5 Prueba de Polimerización de Inhibidor 3.

Punto de muestreo	Inhibidor 3		
	SiO ₂ Total ppm	SiO ₂ Monomérica ppm	SiO ₂ Polimérica ppm
SJ12-3	1021	926	95
SJ12-2	897	807	90
HPS-3 Entrada	899	801	98
HPS-3 Salida	936	883	54
SJ12-1 Filtro	931	837	94
SJ12-1 Cabezal	922	811	111
SJ11-1 Cupón 7	915	865	50
SJ11-1 Sección A	907	849	58
SJ11-1	815	787	28

También se realizó una prueba de polimerización sin inhibidor para observar cual era la concentración de sílice polimerizada, los resultados se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Prueba de Polimerización Sin Inhibidor.

Punto de muestreo	Sin Inhibidor		
	SiO ₂ Total ppm	SiO ₂ Monomérica ppm	SiO ₂ Polimérica ppm
SJ12-3	1032	863	169
SJ12-2	894	808	86
HPS-3 Entrada	904	780	124
HPS-3 Salida	936	762	174
SJ12-1 Filtro	932	819	113
SJ12-1 Cabezal	922	740	182
SJ11-1 Cupón 7	910	847	63
SJ11-1 Sección A	918	864	54
SJ11-1	890	758	132

El resultado determino que las concentraciones de sílice polimerizada de los puntos de importancia son demasiado altas en comparación a los obtenidos con el uso de los inhibidores. Esto demuestra el efecto que tienen los inhibidores para reducir las concentraciones de sílice polimerizada y por ende la formación de incrustaciones de sílice en la tubería.

5.4. Incrustación de Sílice en el Elemento de Flujo

El elemento de flujo es un punto importante en la evaluación de cada uno de los inhibidores, debido a que se observa de forma física su eficiencia, por lo cual a través de él se observó la cantidad de incrustación obtenida tomando en cuenta el tiempo de formación de la incrustación.

Este elemento de flujo es un carrete de tubería pequeño que se puede desmontar y montar, se encuentra situado en la línea de re-inyección cerca del Separador Ciclónico N°3, después de las bombas de inyección (Figura 5.6)



Figura 5.6 Separador Ciclónico N°3 (Elemento de Flujo)

Tabla 5.7 Elemento de Flujo.

Inhibidor	Periodo de Prueba			Dosis Total (mL/min)	Peso de incrustación PI (g)	BP4 EF Área (cm ²)	Promedio de Espesor de Incrustación PEI (mm)	Tasa de Incrustación	
	Fecha de Inicio	Fecha Final	Días					(mg/cm ² -d)	(mm/mes)
Inhibidor 1	10/06/2014	14/07/2014	34	50 - 88	699.00	3357.41	2.00	6.12	1.76
	14/07/2014	19/09/2014	67	95	836.67	3357.41	3.30	3.72	1.48
Inhibidor 2	19/09/2014	20/10/2014	31	50	450.53	3357.41	3.00	4.33	2.90
Inhibidor 3	13/11/2014	03/12/2014	20	68	129.80	3357.41	0.40	1.93	0.60

Como se puede observar en la Tabla 5.7, se comparan los resultados obtenidos en el elemento de flujo de cada inhibidor. Haciendo dicha comparación entre los tres inhibidores, el inhibidor 3 fue el que proporciono mejores resultados. A través de cálculos y datos recopilados en el elemento de flujo, se calculó la formación de incrustación con una capa de espesor al mes aproximadamente de 0.60 mm y teniendo una tasa de incrustación de 1.93 mg/m²-d de sílice en comparación a los otros inhibidores que sus tasas de incrustación y espesor al mes son mayores.

Estas comparaciones son unas de las referencias para la elección del inhibidor a utilizar en el futuro, debido a que se obtuvieron resultados muy relevantes y que de manera sencilla se hace visible (Figura 5.7 y 5.8) la eficiencia de cada inhibidor ante el problema de incrustación de sílice.

Para obtener los resultados de tasa de incrustación se hizo uso de las siguientes ecuaciones:

$$Tasa\ de\ Incrustación\ (mg/cm^2 - d) = \frac{PI * 1000}{Área\ EF * Día} \quad (5.1)$$

$$Tasa\ de\ Incrustación\ (mm/mes) = \frac{PEI}{Día} * \frac{30\ Día}{1\ Mes} \quad (5.2)$$

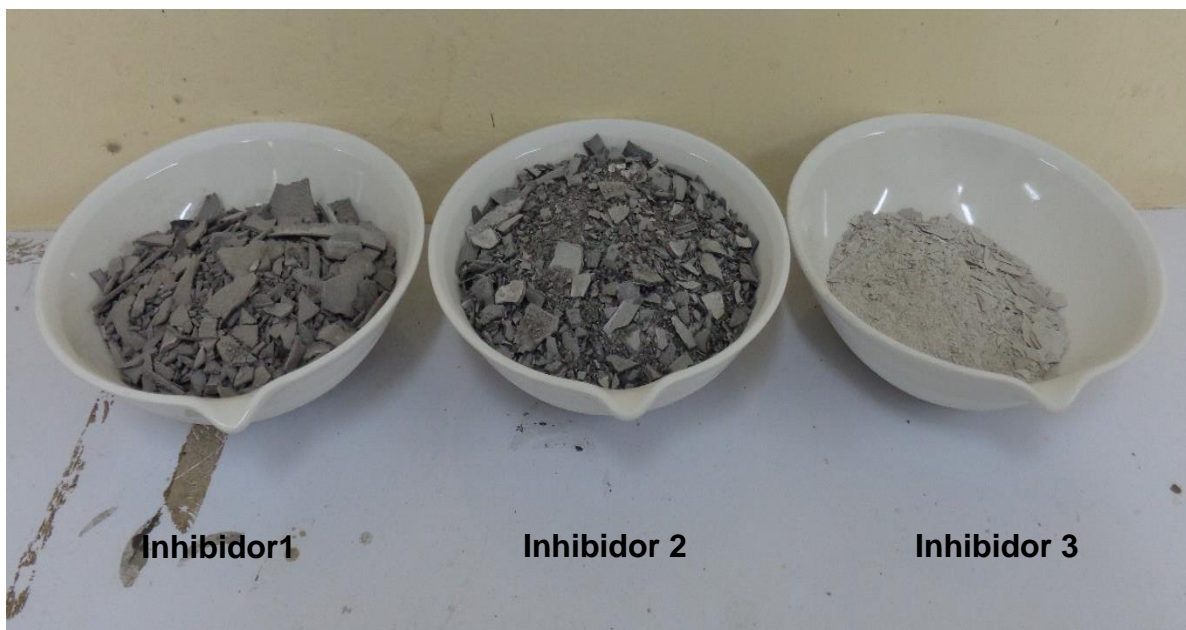


Figura 5.7 Incrustación de Sílice en el Elemento de Flujo.

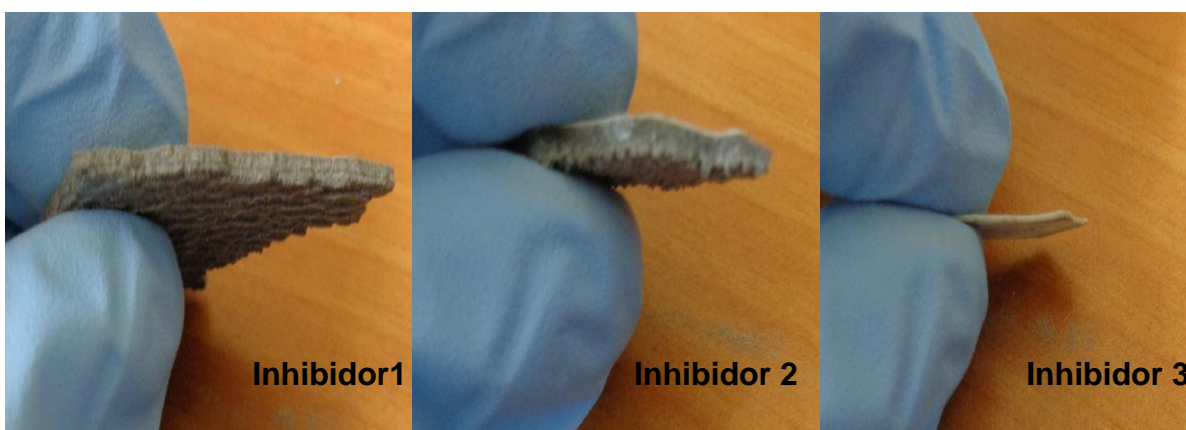


Figura 5.8 Espesor de Incrustación de Sílice en el Elemento de Flujo.

5.5. Costo Anual de los Inhibidores

El costo de cada inhibidor varía, esto se debe a que son productos diferentes, con costos, proveedores y dosis diferentes. En la Tabla 5.8 se observa el cálculo de costo y consumo, esto se realizó para dar una proyección de lo que puede llegar a invertir la planta San Jacinto Tizate dependiendo del inhibidor que al final se elija, esta elección depende de los resultados obtenidos anteriormente.

Tabla 5.8 Costos Anual de Inhibidores.

Inhibidor	Consumo			Costo		
	Dosis (ppm)	mL/min	Kg/mes	US\$/Kg	US\$/mes	US\$/año
Inhibidor 1	11.50	95.00	4,436.80	5.50	24,402.40	292,828.80
inhibidor 2	6.70	50.00	2,571.30	6.19	15,916.35	190,996.16
Inhibidor 3	10.00	68.00	3,909.10	6.44	25,174.60	302,095.25

En la tabla 5.8 se observa que el inhibidor 2 es el más barato, en comparación al inhibidor 3. Pero estos datos solo muestran el costo del consumo del producto. Tomando en cuenta los resultados anteriores el inhibidor 1 y 2 tienen una tasa de incrustación de mm/mes de tres a cinco veces mayor que la del inhibidor 3, lo que implica que al usar los inhibidores 1 y 2 se realizarán mantenimientos correctivos en lapsos de tiempos más cortos en comparación al inhibidor 3, debido a la rapidez con que se incrustan las válvulas de seguridad, también la incrustación obtenida con los inhibidores 1 y 2 tiene una mayor dureza que la del inhibidor 3. En resumen el uso de los inhibidores 1 y 2 conlleva a un mayor tiempo de mantenimiento, teniendo como consecuencia una mayor pérdida de producción de los pozos productores SJ12-2 y SJ12-3, debido a que en el momento en que se da el mantenimiento se reduce la capacidad de producción, que conlleva a una reducción de producción de energía, lo cual implica una pérdida económica. Tomando en cuenta las observaciones anteriormente mencionadas, se debe considerar aparte del costo de consumo las pérdidas económicas que conllevan el mantenimiento al utilizar el inhibidor 2, al final puede ser igual o más costoso para la empresa que el uso del inhibidor 3.

6. CONCLUSIONES

Una vez realizado el análisis de los resultados obtenidos en el muestreo y recolección de datos según los objetivos planteados en el presente estudio se concluye que:

- Los pozos SJ12-2 y SJ12-3 presentan altas concentraciones de sílice (ver Tabla 5.1). Estos pozos se encuentran en estado sobresaturado reflejado en los índices de saturación (ver Figura 5.3) lo cual evidencia el problema de estudio con la formación de las incrustaciones de sílice a lo largo de la línea de re-inyección que puede tener como consecuencia pérdida de capacidad de producción de energía en la planta San Jacinto Tizate.
- Al efectuar la prueba de polimerización desde los pozos productores SJ12-2 y SJ12-3, a lo largo de la línea de re-inyección hasta los pozos re-inyectores SJ11-1 y SJ12-2 (ver Tabla 5.6), se observó que la cantidad de sílice polimerizada es bastante alta en cada punto de muestreo, siendo un punto de referencia para la evaluación de los inhibidores.
- Realizada la evaluación de los inhibidores 1, 2 y 3 con diferentes dosis (ver Tabla 4.2 y 4.3), estos responden de diversas maneras al control de las incrustaciones de sílice siendo el inhibidor 3 el que muestra mejores resultados en la prueba de polimerización (ver Tabla 5.3, 5.4 y 5.5) y la tasa de incrustación (ver Tabla 5.7) en el elemento de flujo.
- Los costos de inversión que representa para la empresa el emplear el inhibidor 3 (ver Tabla 5.8), es el más costoso en comparación a los inhibidores 1 y 2, pero es el más eficiente ya que reduce en gran manera la tasa incrustación de sílice, reduciendo la perdida de producción de energía, tiempo de mantenimiento y no afecta de forma considerable la capacidad económica de la empresa en comparación al inhibidor 1 y 2.

7. RECOMENDACIONES

Es importante seguir haciendo pruebas e investigaciones relacionadas con el control de la sílice en plantas geotérmicas ya que es un problema muy común en el caso de la geotermia.

Se recomienda realizar experimentos con diferentes tipos de ácidos con el cual se logre modificar el pH de la salmuera, debido a que la sílice en un ambiente ácido no precipita, también se debe de tomar en cuenta el material del que está hecho la tubería, ya que un pH ácido puede llegar a corroer la tubería, provocando mayores gastos de lo que produce la incrustación de sílice.

Simular a través de un programa la mezcla de salmuera con agua de condensado, y también realizarlo forma experimental, debido a que de esta forma se podría llegar a saturar o disolver la sílice. El objetivo por parte de la simulación es ver el comportamiento de choque térmico entre el agua de condensado y salmuera, y el objetivo de la forma experimental es ver el comportamiento ante el cambio drástico de temperatura, ya que la temperatura de agua de condensado se encuentra aproximadamente a 40°C y la temperatura de la salmuera aproximadamente a 140°C.

Poner a prueba otros inhibidores, probar otros tipos de dosis y llevar a cabo la mezcla de un inhibidor con otro inhibidor diferente para ver si las propiedades de los diferentes inhibidores al mezclarse afectarían de manera positiva la inhibición de la sílice.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcober, E.H., Candelaria, M.N.R., Mejorada, A.V., & Cabel, J., A.C. (2005). *Mitigation of silica deposition in wellbore formation in Malitbog sector, Tongonan Leyte, Philippines*. PNOC Energy Development Corporation. (29).
- American Society for testing and Materials. Annual book of Standards (1994). *Determinación de sílice soluble en agua Metodo ASTM D859/88*.
- Arehart, G.B., Christenson, B.W., Wood, P., Foland, K.A., & Browne, P.R.L. (2002). *Timing of volcanic, plutonic and geothermal activity at Ngatamariki, New Zeland*. *J Volc Geotherm Res.* (116), 201-214.
- Ármansson. (2005). Analytical procedures and quality assurance for geothermal water chemistry.
- Arnórsson. (1995). Geothermal systems in Iceland: Structure and conceptual models. I. High-temperature areas. *Geothermics*. (24), 561-602.
- Bibby, H.M., Caldwell, T.G., Davey, F.J., & Webb. (1995). Geophysical evidence on the structure of the Taupo Volcanic zone and its hydrothermal circulation. *J Volc Geotherm Res.* (68).29-58.
- Bourcier, W. (2006). Coproduction of silica and other commodities from geothermal fields. *Ditto*.
- Browne, P.R.L. (1979). Minimum age of thee Kawerau geothermal field, North Island, New Zealand. *J Volc Geotherm Res.* (6), 213-215.
- Chan, S.H. (1989). A review on solubility and polymerization of silica. *Geothermics*. 18(1-2), 49-56.
- Cosco, J. (2011). Introducción a los sistemas automáticos de control. *Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú*.
- Díaz, C., & Rincon, J. M^a. (1990). Tratamiento químico de la escoria de sílice de una planta geotérmica para su aplicación en cerámica y vidrio. *BOLSOC. ESP. CERAM. VIDR.* 29 (1990) (3), 181-184.
- Erlindo, C., & Angcoy, Jr. (2006). An experiment on monomeric and polymeric silica Precipitation rates from supersaturated solutions.

- Fournier, R.O., & Rowe, J.J. (1966). Estimation of underground temperatures from silica content of water from hot springs and wet-steam wells. *Am. J. Sci.* (264), 685–697.
- Gallup, D. L., & Barcelon, E. (2005). Investigations of organic inhibitors for silica scale control from geothermal brines-II. *Geothermics*. (34), 756-771.
- Giggenbach, W. (1984). *Geoquímica: Mass transfer in hydrothermal systems*.
- Grindley. (1965). The Geology, Structure and Exploitation of the Wairakei Geothermal Field. Taupo, New Zealand. *New Zeal Geol Surv, DSIR, Bulletin 75*.
- Guerra, C., & Jacobo, P. (2012). pH modifications for silica control in geothermal fluids. *Geothermal Training Programme*.
- Gunnarsson, I., & Arnórsson, S. (2000). Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of $\text{H}_4\text{SiO}_4^\circ$ in the range of 0° to 350°C at Psat. *Geochim. Cosmochim. Acta*, (64), 2295-2307.
- Hauksson, T., & Gudmundsson, J.S., (1986). Silica deposition during injection in Svartsengi field. *Geothermal Resources Council, Transactions*. (10), 377-383.
- Itoi, R., Fukuda, M., Jinno, K., Hirowatari, K., Shinohara, N., & Tomita, T. (1989). Long-term experiments of waste water injection in the Otake geothermal field, Japan. *Geothermics*, (18), 153-159.
- Jacobs, compañía consultora: www.jacobsskm.com
- Jungho, P., Norman, D., McLin, K., & Moore, J. (2006). Modeling amorphous silica precipitation: A strategy to reduce silica precipitation near coso injection wells. *Stanford University, Stanford, California*.
- Kissling, W.M., & Weir, G.J. (2005). The distribution of the geothermal fields in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *World Geothermal Congress, Turkey, paper* (1919).
- Klein, C. (1995). *Management of fluid injection in geothermal wells to avoid silica scaling at low levels of silica oversaturation*. Transactions - Geothermal Resources Council, 19: 503-511
- Klein, F.W., Einarsson, P., & Wyss, M. (1977). The Reykjanes Peninsula, Iceland, earthquake swarm of September 1972 and its tectonic significance. *J Geophys Res*(82), 865-888.

- Malate, R.C.M., & O'Sullivan, M.J. (1993). Mathematical modelling of silica deposition in Tongonan-1 reinjection wells, Philippines. *Geothermics*. (22), 467-478.
- Melgar, C., & Torres, K. (2008). Validación del método del molibdosilicato para la determinación de sílice en agua potable en el laboratorio central de la administración nacional de acueductos y alcantarillados, ANDA.
- Messer, P.H., Pye, D.S., & Gallus, J.P. (1978). Injectivity restoration of a hot-brine geothermal injection well. *J. Petroleum Technology*. (30), 1225-1230.
- Norma Venezolana. *Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación de Sílice*. (1988).
- Pérez, M. (2004). *Biodiversidad: Aspectos conceptuales, análisis numérico y monitoreo*. Managua, Nicaragua.
- Sanyal, S.K., Granados, E.E., Butler, S.J., & Horne, R.N. (2005). An alternative and modular approach to enhanced geothermal systems. *GRC Transactions*, (29), 139-144.
- Standard methods for the examination of water and waste water publicado por la APHA. Determinación de sílice por el método del molibdosilicato Método 4500 Si-E, 1995*
- Tapia, R. (2007). Control de incrustación en instalaciones superficiales del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes. *BCS, Geotermia*, 20(1), Enero-Junio de 2007.

Anexo

A.1 Método de Análisis

A.1.1 Método de Análisis de la Sílice Total

Materiales y Equipo

1 Espectrofotómetro UV-visible
1 Baño de agua
9 Erlenmeyer de 125 mL, con tapón de rosca de plástico
9 Balones volumétricos de 100 mL, con tapón de rosca de plástico
Pipetas de 0.5 a 5 mL

Reactivos y Estándares

- **10% (w/v) Molibdato de Amonio, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$**

Disolver 10 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$ en agua destilada luego diluir hasta 100 mL. Ajustar el pH a 7 con NaOH. Agregarlo en botella de plástico.

- **HCl 6N**

Mezclar volúmenes iguales de HCl concentrado y agua destilada.

- **NaOH 6N**

Disolver 24 g de NaOH en agua destilada y diluir a 100 mL.

- **15% (w/v) de ácido oxálico, $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$**

Disolver 15 g $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ en agua y diluir a 100 mL con agua destilada.

- **Etanol Absoluto $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$**

- **1% (w/v) Indicador de Fenolftaleína**

Disolver 1 g de polvo de fenolftaleína, en 50 mL de etanol y diluir hasta 100 mL, con agua destilada. Almacenar en botella de plástico.

- **Solución de Silicio 1000 mg/L**

La solución de silicio es una solución de referencia estándar de 500 mL.

- **Soluciones Patrón de Trabajo**

Una baja concentración será 10 mg/L a 100 mg/L de Silicio equivalentes a 21,4 a 214 mg/L de SiO_2 .

Una alta concentración será 100 mg/L a 800 mg/L de Si, equivalente a 214 mg/L a 1712 mg/L de SiO_2 . Entre estas concentraciones se tomará un rango de 428 mg/L a 1392.3 mg/L de SiO_2 .

Procedimiento del Análisis

Agitar la muestra y las soluciones estándar. De la muestra se tomará 20 mL y de los estándares se tomará la cantidad de mililitros que se presenta más adelante para la realización de la curva de calibración, muestras y estándares serán aforados a 100 mL.

Preparar un blanco de reactivo por tratamiento de 2, 10 o 20 mL de alícuota de agua destilada, según se requiera.

Añadir 2-3 gotas de indicador de fenoltaleína.

Añadir 0,5 mL de NaOH 6 N y enjuagar lados del matraz con agua destilada.

Cubrir con la tapa y el calor en un baño de agua durante 45 minutos a 1 hora a 80°C - 90°C .

Eliminar de baño de agua y dejar enfriar.

Añadir 2 mL de HCl 6 N y 5 mL de solución de molibdato de amonio. Agitar y dejar reposar durante 15 minutos.

Añadir ácido oxálico 2 mL al 15%, diluya hasta la marca con agua destilada y agitar.

Medir la absorbancia de las muestras a 410 nm frente al blanco de reactivo.

Cálculo

Lea la concentración de sílice en mg/L directamente desde el instrumento o preparar una curva de calibración para leer la concentración de la muestra. Compruebe que la concentración es expresada como SiO₂ no de Si.

Para las muestras diluidas, calcular la concentración original usando:

$$\text{mg/L de SiO}_2 = \text{Factor de concentración} \times \text{dilución}$$

Curva de Calibración

Se realiza una curva de calibración con los siguientes puntos de SiO₂.

Esta curva se prepara diluyendo en un balón volumétrico de 100 mL la cantidad de ml de la solución patrón de 1000 ppm de silicio que se anotan en la tabla y aforando con agua destilada a la marca de 100 mL.

Posteriormente se añaden los reactivos a cada uno de los matraces como se menciona en el análisis de la muestra, para desarrollar la reacción de color. Se llena la celda del espectrofotómetro y se anota la lectura de la absorbancia obtenida para cada estándar.

Tabla A.1 Concentraciones de soluciones patrón.

Solución estándar SiO₂ (mL) (Si = 1000 mg/L)	Concentración SiO₂ (mg/L)
20	428.4
25	535.5
30	642.6
35	749.7
40	856.8
45	963.9
50	1071
55	1178.1
60	1285.2

A.1.2 Método de Análisis de Sílice Monomérica

La presencia de molibdato a un pH de 2.5, al reaccionar con la sílice monomérica da como resultado un color amarillo, que es el molibdosilicato anión, que puede ser medido por colorimetría o espectrofotometría.

Las muestras deben de ser acidificadas (5 gotas de HCl al 50% en 100 mL de muestra) o diluir 1:10 y acidificar. Analizar las muestras tan pronto como sea posible después de la recolección. Si la concentración de sílice es inferior a 50 ppm, use el método de heteropoli azul.

Analizar todas las muestras de cada ejecución en un solo lote, de modo que los resultados de la muestra se pueden comparar con mayor precisión.

Reactivos

- **Solución de Molibdato al 10%**

Disolver 50 g de molibdato de amonio - $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot\text{H}_2\text{O}$ – en 300 mL de agua destilada. Agregar 23,5 mL de hidróxido de amonio concentrado (28%), y aforar hasta 500 mL.

- **Ácido Sulfúrico 1.5 N**

21 mL de H_2SO_4 concentrado en 500 mL de agua destilada.

- **Reactivo Ácido Molibdato**

Agregar 75 mL de agua destilada en una botella de polietileno de 250 mL. Añadir 30 mL de ácido sulfúrico 1.5 N. Luego se agrega 30 mL de solución de molibdato a 10%. Esto le dará 135 ml de reactivo ácido molibdato, adecuado para una corrida de análisis (aproximadamente 4 estándares y 8 muestras). Prepare inmediatamente, antes de su uso y descarte antes de que aparezcan precipitados

- **Estándares**

Preparar estándares de 214, 428 y 856 ppm de una solución estándar de 2140 ppm (1000 ppm de estándar comercial de Si).

Procedimiento del Análisis

- Registrar todas las mediciones directamente en el formulario de análisis estándar, en el momento de análisis.
- Pipetear 0.4 mL de estándar y muestra (concentraciones 500 – 1000 ppm) en Beakers de plástico.
- Añadir 10 mL de reactivo ácido molibdato y agitar brevemente para mezclar.
- Leer la absorbancia en 410 nm después de 5 minutos. Si las muestras se dejan demasiado tiempo en la solución se verá nublado debido al precipitado del molibdato.
- Preparar curva de calibración en Excel y leer la concentración de la muestra.

A.2 Control de Calidad de la Curva de Calibración

Siempre incluya reactivos o muestras testigo en el análisis.

Concentraciones estándar deben encuadrar a las concentraciones de la muestra y efectuarse dentro del rango de trabajo. Diluir las muestras si es necesario.

Los valores de absorbancia deben estar dentro de la gama de trabajo aceptable, como se especifica en el manual del fabricante.

Compruebe que el primer orden de la linealidad de la curva de calibración estándar tiene $R \geq 0.999$.

A.3 Curva de solubilidad de la sílice

La curva de solubilidad de la sílice fue creada a través de muchas investigaciones, en rangos de temperaturas muy altas, la combinación de todas estas investigaciones se obtuvo como resultado la formulación de una ecuación que describe el comportamiento de la solubilidad de la sílice con respecto a la temperatura (Gunnarsson & Arnórsson, 2000).

$$\text{Log}k_{am.silica} = -8.476 - 485.24 * T^{-1} - 2.268 \times 10^{-6} * T^2 + 3.068 * \log T \quad (\text{A.I})$$

A.4 Referencia de los inhibidores

INHIBIDOR 1

Polímero de control de sílice impide la formación de incrustaciones sílice basada por tanto el control de la polimerización de sílice y de dispersión coloidal. También reduce el ensuciamiento mediante la inhibición de la precipitación de carbonato de calcio y la dispersión de limo, arcillas y óxidos metálicos. Está diseñado para reducir al mínimo la incrustación en alta temperatura que se encuentra en pozos geotérmicos.

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estas propiedades son típicas.

Tabla A.2 Propiedades Físicas y Químicas.

Estado Físico	Líquido
Apariencia	Amarillo ambar
Densidad	8.9lbs/gal a 16°C (60°F)
Peso Específico	1.07
pH (ordenado)	3.9
Recuperación de Congelación y Descongelación	Completo
Viscosidad	52cps@ 22°C (72°F) usando huso #3 @30 rmp
Punto de Inflamabilidad (PMCC)	>200°F / >93.3°C
Olor	Leve Orgánica
Solubilidad en Agua	Completo
Punto de congelación	-16°C (4.0°)

COMPONENTES ACTIVOS

Función- activa

Inhibidor de incrustaciones de sílice Co-polímero Propietario

Trasar # 1- monitoreo y control del producto

APROBACIONES REGULATORIAS

Este producto está destinado exclusivamente para uso industrial. No debe ser alimentado a los sistemas de agua potable.

MATERIALES DE COMPATIBILIDAD

Tabla A.3Lista de Materiales Compatibles.

Compatible	No Compatible
340SS	Brass- Almirantazgo
316SS	Acero dulce
CPVC, cloruro de polivinilo clorado	PA, poliamida de nylon 11
HDPE	CR- neopreno
LIDPE	Liner EHD0045 epoxi fenólico
PMMA, polimetilmetacrilato	Liner HXG0009, fenólico
PP, polipropileno	
PTFE, fluoropolímero, politetrafluoroetileno	
PP, cloruros de polivinilo tipo 1	
PVDF, kynar, fluoruro de polivinilideno	
UHMWPE, Ultra Alto Peso Molecular PE	
EPDM, caucho de dienopropilenoetileno	
FFKM, Kalrezperfluoroelastómero 1050	
FKM, Viton caucho sintético A, Fluoroelastómero	
NBR, Buna, nitrilo	

DOSIS Y ALIMENTACIÓN

Deben ser alimentados a través de un sistema de alimentación cerrado. Un sistema de alimentación cerrado se define como un sistema en el cual el fluido se mueve desde un recipiente de almacenamiento cerrado en un medio de comunicación tratados sin exposición a la atmósfera excepto a través de dispositivos de alivio de presión de ventilación.

Para recomendaciones de dosificación y alimentación completa, usted debe consultar a un ingeniero de ventas.

DATOS AMBIENTALES Y TOXICIDAD

Demanda Biológica de Oxígeno (5 días DBO₅) N/A Demanda Química de Oxígeno (DQO) N/A de carbono orgánico total (TOC) N/A.

SEGURIDAD Y MANEJO

Es un material ácido que puede causar irritación en los ojos y la piel. Guantes resistentes a productos químicos y gafas de seguridad deben utilizar para la manipulación.

ALMACENAMIENTO

Debe ser almacenado en un lugar donde la temperatura del producto se puede mantener en un rango entre 34 °F (1 °C) y 120 °F (49 °C). Límite de almacenamiento dentro de la planta recomendada es de un año.

INHIBIDOR 2

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Otros medios de identificación: no aplicable

Uso recomendado: TRATAMIENTO PARA AGUAS DE REFRIGERACIÓN

Restricciones de uso: Consulte la documentación del producto o consulte a su representante de ventas local para restricciones de uso y los límites de dosis.

Fecha de emisión: 13.02.2014

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGRO

Revisión de la Emergencia

ADVERTENCIA

Causa irritación a los ojos.

No poner en los ojos, la piel y la ropa. No ingerir. Usar con ventilación adecuada. Usar gafas de seguridad para químicos (ajustadas al contorno del rostro). En caso de contacto con los ojos, lávelos inmediatamente con mucha agua y consulte a un médico. Después de un contacto con la piel, lávese inmediatamente con mucha agua. Utilícese un jabón neutro, si está disponible. Proteger este producto de la congelación.

Usar indumentaria de protección, guantes y protección para los ojos/cara adecuados.

No es inflamable o combustible.

Efectos potenciales para la Salud

Ojos: Provoca irritación ocular grave.

Piel: No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso.

Ingestión: No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso.

Inhalación: No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

Nombre químico: Diaminafosfonometilado, sal de sodio

No. CAS: Propietario

Concentración (%) 10.0 - 30.0

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

En caso de contacto con los ojos:	Enjuagar inmediatamente con agua abundante, también debajo de los párpados, al menos por 15 minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Consultar un médico.
En caso de contacto con la piel:	Eliminar lavando con jabón y mucha agua. Consultar un médico si los síntomas aparecen.
Si es ingerido:	Enjuáguese la boca. Consultar un médico si los síntomas aparecen.
Si es inhalado:	Consultar un médico si los síntomas aparecen.

Protección de los socorristas: En caso de emergencia, evalúe el peligro antes de emprender una acción. No se ponga en riesgo de sufrir una lesión. En caso de duda, contacte con los servicios de emergencias. Utilizar el equipo de protección individual obligatorio.

Notas para el médico: Tratar sintomáticamente.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción apropiados : Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores.

Medios de extinción no apropiados : Ninguna conocida.

Peligros específicos en la lucha contra incendios : No es inflamable o combustible.

Productos de combustión peligrosos : Óxidos de carbono óxidos de nitrógeno (NOx) Óxidos de azufre Óxidos de fósforo.

Equipo de protección especial para el personal de lucha contra incendios : Utilícese equipo de protección individual.

Métodos específicos de extinción : Los restos del incendio, así como el agua de extinción contaminada, deben eliminarse según las normas locales en vigor. En caso de incendio o de explosión, no respire los humos

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia : Asegurar que la limpieza sea llevada a cabo únicamente por personal entrenado.

Precauciones relativas al medio ambiente : No permitir el contacto con el suelo, la superficie o con las aguas subterráneas.

Métodos y material de contención y de limpieza : Detener la fuga, si no hay peligro en hacerlo. Contener y recoger el derrame con material absorbente que no sea combustible (por ejemplo, arena, tierra de diatomeas, vermiculita) y depositarlo en un recipiente para su eliminación de acuerdo con la legislación local y nacional. Lave los rastros con un chorro de agua. En grandes derrames, canalizar el material derramado o retenerlo para evitar que la fuga no alcanza el agua corriente.

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Consejos para una manipulación segura : Evítese el contacto con los ojos y la piel. Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación. Utilizar solamente con una buena ventilación.

Condiciones para el almacenaje seguro : Mantener fuera del alcance de los niños. Mantener el recipiente herméticamente cerrado. Estocar en recipientes adecuados y etiquetados.

Material de embalaje : Material apropiado: Guardar en contenedores etiquetados correctamente.

Material inapropiado : (valor) no determinado

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN INDIVIDUAL

Componentes con valores límite ambientales de exposición profesional.

No contiene sustancias con valores límites de exposición profesional.

Disposiciones de ingeniería : Sistema eficaz de ventilación por extracción. Mantener las concentraciones del aire por debajo de los estándares de exposición ocupacional.

Protección personal

Protección de los ojos : Gafas protectoras con cubiertas laterales.

Protección de las manos	: Los guantes deben ser descartados y sustituidos si existe alguna indicación de degradación o perforación química.
Protección de la piel	: Usar indumentaria de protección adecuada.
Protección respiratoria	: Normalmente no requiere el uso de un equipo de protección individual respiratorio.
Medidas de higiene	: Quitar y lavar la ropa contaminada antes de reutilizar. Lávense las manos antes de los descansos e inmediatamente después de manipular la sustancia. Lavarse la cara, manos y toda la piel expuesta, concienzudamente tras la manipulación.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Aspecto:	Líquido
Color:	Transparente - amarillo claro
Olor:	Macío
Punto de inflamación:	> 93.3 °C
pH:	4.2 - 5.2, 100 %(25 °C)
Umbral olfativo:	sin datos disponibles
Punto de fusión/ punto de congelación:	sin datos disponibles
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición:	sin datos disponibles
Tasa de evaporación:	sin datos disponibles
Inflamabilidad (sólido, gas):	sin datos disponibles
Límite de explosión, superior:	sin datos disponibles
Límite de explosión, inferior:	sin datos disponibles
Presión de vapor:	sin datos disponibles
Densidad relativa del vapor:	sin datos disponibles
Densidad relativa:	1.17 - 1.21 (25 °C)

Densidad:	sin datos disponibles
Solubilidad en agua:	totalmente soluble
Solubilidad en otros disolventes:	sin datos disponibles
Coeficiente de reparto n-octanol/agua:	sin datos disponibles
Temperatura de auto-inflamación:	sin datos disponibles
Descomposición térmica:	Óxidos de carbono Óxidos de nitrógeno (NOx) Óxidos de azufre Óxidos de fósforo
Viscosidad, dinámica:	16 mPa.s (4.4 °C)
Viscosidad, cinemática:	sin datos disponibles
COV:	0 %

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad química	: Estable en condiciones normales
Posibilidad de reacciones peligrosas	: No se conoce reacciones peligrosas bajo condiciones de uso normales.
Condiciones que deben evitarse	: Ninguna conocida.
Materiales incompatibles	: El contacto con oxidantes fuertes (por ej. cloro, peróxidos, cromatos, ácido nítrico, perclorato, oxígeno concentrado, permanganatos) puede generar calor, fuego, explosiones y/o vapores tóxicos. El contacto con álcalis fuertes (por ej. amoníaco y sus soluciones, carbonatos, hidróxido sódico (cáustico), hidróxido potásico, cal muerta, cianuro, sulfitos, hipocloritos, cloritos) puede generar calor, salpicaduras o ebullición, y vapores tóxicos.
Productos de descomposición peligrosos	: Óxidos de carbono Óxidos de nitrógeno Óxidos de azufre Óxidos de fosforo

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información sobre posibles vías de exposición : Inhalación
Contacto con los ojos
Contacto con la piel

Efectos potenciales para la Salud

Ojos : Provoca irritación ocular grave.

Piel : No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso.

Ingestión : No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso

Inhalación : No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso

Exposición Crónica : No son conocidos ni esperados daños para la salud en condiciones normales de uso

Experiencia con exposición de seres humanos

Contacto con los ojos : Rojez, Dolor, Irritación.

Contacto con la piel : Ningún síntoma conocido o esperado.

Ingestión : Ningún síntoma conocido o esperado.

Inhalación : Ningún síntoma conocido o esperado.

Toxicidad

Producto

Toxicidad oral aguda : Sin datos disponibles.

Toxicidad aguda por inhalación : Sin datos disponibles.

Toxicidad cutánea aguda : Sin datos disponibles.

Corrosión o irritación	: Sin datos disponibles.
Cutáneas	
Lesiones o irritación ocular graves	: Sin datos disponibles.
Sensibilización respiratoria o cutánea	: Sin datos disponibles.
Carcinogenicidad	: No se identifica ningún componente de este producto, que presente niveles mayores que o igual a 0,1% como agente carcinógeno humano probable, posible o confirmado por la (IARC) Agencia Internacional de Investigaciones sobre Carcinógenos.
Efectos reproductivos	: Sin datos disponibles.
Mutagenicidad en células germinales	: Sin datos disponibles.
Teratogenicidad	: Sin datos disponibles.
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única	: Sin datos disponibles.
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida	: Sin datos disponibles.
Toxicidad par aspiración	: Sin datos disponibles.

CARACTERIZACIÓN DE PELIGROS PARA HUMANOS

De acuerdo con nuestra caracterización de peligro, el potencial de peligro para humanos es: Moderado

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ecotoxicidad

Efectos Ambientales	: Este producto no tiene efectos ecotoxicológicos conocidos.
---------------------	--

Producto

Toxicidad para los peces	: CL50 <i>PececilloFatheat</i> (<i>Pimephalespromelas</i>) -: > 10,000 mg/L Tiempo de exposición: 96 Horas Sustancia Test: Producto
Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos.	: CL50 Pulga de agua (<i>Daphnia magna</i>): > 1,000 mg/L Tiempo de exposición: 48 Horas Sustancia Test: Producto
	CL50 Pulga de agua (<i>Ceriodaphniadubia</i>): 3,536 mg/L Tiempo de exposición: 48 horas Sustancia Test: Producto
Toxicidad para las algas	: Sin datos disponibles
Toxicidad para los peces (Toxicidad crónica)	: EC25 / IC25: 5,540 mg/L Tiempo de exposición: 7 Días Especies: <i>PececilloFatheat</i> (<i>Pimephalespromelas</i>) Sustancia test: Producto
	LOEC: 2,500 mg/L Tiempo de exposición: 7 Días Especies: <i>Pececillo Fatheat</i> (<i>Pimephalespromelas</i>) - Sustancia test: Producto
	NOEC: 1,250 mg/L Tiempo de exposición: 7 Días Especies: <i>Pececillo Fatheat</i> (<i>Pimephalespromelas</i>) - Sustancia test: Producto
Toxicidad para las dafnias y otros invertebrados acuáticos. (Toxicidad crónica)	: LOEC: 250 mg/L Tiempo de exposición: 7 Días Especies: Pulga de agua (<i>Ceriodaphniadubia</i>) Sustancia test: Producto

EC25 / IC25: 173 mg/L
Tiempo de exposición: 7 Días
Especies: Pulga de agua
(*Ceriodaphniadubia*)
Sustancia test: Producto

NOEC: 125 mg/L
Tiempo de exposición: 7 Días
Especies: Pulga de agua
(*Ceriodaphniadubia*)
Sustancia test: Producto

Persistencia y degradabilidad

Demanda química de oxígeno (DQO): 500,000 mg/L

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):

Periodo de Incubación	Valor	Sustancia examinada
5 d	329 mg/L	Producto

Movilidad

El resultado sobre el medio ambiente se estimó utilizando un modelo de fugacidad de nivel III en el paquete EPI (estimation program interface, interfaz del programa de estimación) Suite TM, provisto por la EPA de EE.UU. (US EPA). El modelo supone una condición de estado estacionario entre la entrada y la salida total. El modelo de nivel III no requiere equilibrio entre los medios definidos. La información suministrada intenta brindar al usuario una estimación general del resultado sobre el medio ambiente que este producto tiene bajo las condiciones definidas de los modelos. Se espera que, si este material se libera al medio ambiente, se distribuya en el aire, el agua y el suelo/sedimentos en los porcentajes aproximados correspondientes.

Aire	: <5%
Agua	: 10 - 30%
Suelo	: 50 - 70%

Se estima que la parte en agua puede disolverse o dispersarse.

Potencial de Bioacumulación

Se espera que esté preparado o material no genere bioacumulación.

Información adicional

Sin datos disponibles

CARACTERIZACIÓN DE PELIGRO AMBIENTAL Y DE EXPOSICIÓN

De acuerdo con nuestra caracterización de peligro, el potencial de peligro para el medio ambiente es: Bajo

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

- | | |
|--|--|
| Métodos de disposición | : Donde sea posible, es preferible el reciclaje en vez de la deposición o incineración. Si no se puede reciclar, elimínese conforme a la normativa local. Eliminación de los desechos en plantas aprobadas de eliminación de desechos. |
| Consideraciones relativas a la eliminación | : Eliminar como producto no usado. Los contenedores vacíos deben ser llevados a un sitio de manejo aprobado para desechos, para el reciclado o eliminación. No reutilizar los recipientes vacíos. |

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

El transportista/consignatario/remitente es responsable de garantizar que el embalaje, etiquetado y el marcado es el adecuado para el modo de transporte seleccionado.

Transporte por carretera: En general es aplicable para el transporte en Latinoamérica.

Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	: EL PRODUCTO NO ESTÁ REGULADO DURANTE SU TRANSPORTE
--	--

Transporte aéreo (IATA)

Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	: EL PRODUCTO NO ESTÁ REGULADO DURANTE SU TRANSPORTE
--	--

Transporte marítimo IMDG/IMO)

Designación oficial de transporte : EL PRODUCTO NO ESTÁ REGULADO
de las Naciones Unidas DURANTE SU TRANSPORTE

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

Esta sección contiene información adicional que puede tener relevancia para el cumplimiento reglamentario. La información en esta sección es solamente para consulta. No es minuciosa, y no debe ser considerada para remplazar una anuencia individualizada o evaluación de riesgo. La empresa no asume ninguna responsabilidad por el uso de esta información.

Argentina: Nuestras MSDS cumplen con la Ley 19587 - Dto. 351/79 y Resolución 295/03.

México: Nuestra MSDS cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-018 STPS-2000, Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo.

Chile: Nuestra MSDS cumple con las Normas Chilena: Nch. 2245 (Sustancias Químicas - Hojas de datos de seguridad - Requisitos).

Colombia: Nuestra MSDS Cumple con los requisitos establecidos por la Norma Técnica Colombiana 4435.

Venezuela: Nuestra MSDS cumple con la norma COVENIN 3059: 2002. Materiales Peligrosos. Hoja de Datos de Seguridad de los Materiales

REGLAMENTOS NACIONALES, BRASIL

Brasil: Nuestra FISPQ cumple con la norma Brasileira ABNT NBR 14725.

LEYES INTERNACIONALES DE CONTROL QUÍMICO:

LEY DE CONTROL DE SUSTANCIAS QUÍMICAS TOXICAS (TSCA)

Los ingredientes químicos de este producto figuran en el punto 8(b) del inventario TSCA (Inventory List) (49 CFR 710) o son vendidas comercialmente bajo la excepción de polímeros (40 CFR 723.250).

LEY CANADIENSE DE PROTECCIÓN AMBIENTAL (CEPA)

Este producto contiene sustancias que no están enumeradas en la lista de sustancias domésticas (DSL, Domestic Substances List) ni en la lista de sustancias no domésticas (NDSL, Non-Domestic Substances List).

AUSTRALIA

Todas las sustancias de este producto cumplen con el esquema nacional e industrial de notificación y evaluación de químicos (NICNAS, National Industrial Chemicals Notification & Assessment Scheme) y figuran en el inventario australiano de sustancias químicas (AICS, Australian inventory of Chemical Substances).

CHINA

Todas las sustancias de este producto cumplen con la ley de control de químicos (Chemical Control Law) y figuran en el inventario químico de sustancias existentes (CIES, Chemical Inventory of Existing Substances).

JAPÓN

Este producto contiene sustancia(s) que no cumplen la Law Regulating the Manufacture and Importation Of Chemical Substances y que no están listadas en la Ministry of International Trade & Industry List (MITI - Japón).

COREA

Este producto contiene sustancia(s) que no están de acuerdo con la Toxic Chemical Control Law y pueden requerir revisión adicional.

NUEVA ZELANDA

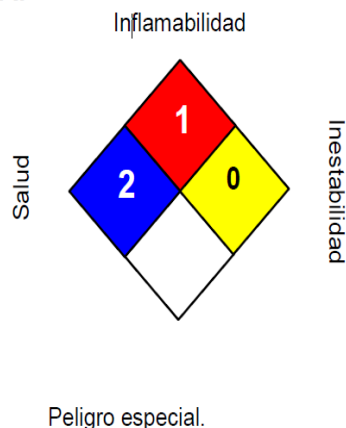
Todas las sustancias en este producto cumplen con las Sustancias Peligrosas y Nuevos Organismos (HSNO) Act de 1996, y están listadas o están exentos del Inventario de Sustancias Químicas de Nueva Zelanda.

FILIPINAS

Este producto contiene sustancia(s) que no cumplen con la ley 6969 de la república (RA 6969, Republic Act 6969) y pueden requerir revisión adicional.

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

NFPA:



HMIS III:

SALUD	2
INFLAMABILIDAD	1
PELIGRO FÍSICO	0

0 = no significativo, 1 =Ligero,
2 = Mediano, 3 = Alto
4 = Extreme, * = Crónico

Fecha de revisión : 13.02.2014
Número De Versión : 2.1
Preparado por : Regulatory Affairs

INFORMACIÓN REVISADA: Los cambios importantes introducidos en las normativas o la información sanitaria como parte de esta revisión se indican mediante una barra en el margen izquierdo de la Hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS).

La información proporcionada en esta Ficha de Datos de Seguridad, es la más correcta de que disponemos a la fecha de su publicación. La información suministrada, está concebida solamente como una guía para la seguridad en el manejo, uso, procesado, almacenamiento, transporte, eliminación y descarga, y no debe ser considerada como una garantía o especificación de calidad. La información se refiere únicamente al material especificado, y no puede ser válida para dicho material, usado en combinación con otros materiales o en cualquier proceso, a menos que sea indicado en el texto.

INHIBIDOR 3

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO QUÍMICO

Uso del Producto: Inhibidor de Incrustaciones Geotérmicas

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO(S)

Palabra Señalizadora:	¡ADVERTENCIA!
Declaración(es) de Peligrosidad:	Puede ser dañino al contacto con la piel. Puede ser dañino si se inhala. Puede ser dañino si se ingiere.
Declaración(es) Precautorias:	No se esperan riesgos significativos a la salud, como consecuencia de su exposición bajo condiciones normales de uso.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INGREDIENTES PELIGROSOS

Componente	Registro CAS #	Peso %
No ingredientes peligrosos en este producto.	N/A	N/A

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:	Traslade al aire fresco y mantenga a la persona en reposo en una posición confortable para que respire bien. Inmediatamente llame a un centro de control de sustancias venenosas o a un doctor/médico si siente malestar.
Ojos:	Enjuague cuidadosamente los ojos con agua durante varios minutos. Si los tuviera y es fácil de hacerlo, quítese los lentes de contacto. Continúe enjuagando. Si la irritación en los ojos persiste, obtenga asistencia/atención médica.

Piel: Lávese muy bien con abundante agua y jabón. Llame a un centro de control de sustancias venenosas o a un doctor/médico si siente malestar.

Ingestión: NO INDUZCA EL VOMITO. Enjuáguese la boca. Llame a un CENTRO DE CONTROL DE SUSTANCIAS VENENOSAS o a un doctor/médico si siente malestar.

Notas para el Médico: N/A

Recomendaciones Adicionales
Para Primeros Auxilios: N/A

SECCIÓN 5. MEDIDAS CONTRA INCENDIOS

Inflamabilidad del Producto: No inflamable.

Medio Adecuado de Extinción: En caso de incendio, use un medio adecuado de extinción para extinguir el fuego.

Daños Específicos Derivados del Químico: Rocíe con agua para mantener los envases enfriados.

Equipo de Protección: Si el producto está involucrado en un incendio, use ropa protectora, incluyendo aparato de respiración auto-contenido de presión positiva, aprobado por NIOSH.

SECCIÓN 6. MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Precauciones Personales: Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado.

Precauciones Ambientales: Evite la dispersión del material derramado y el contacto con la tierra, vías fluviales, desagües y alcantarillas.

Métodos para Limpieza: Detenga y recupere el líquido cuando sea posible. Lave el área del derrame con rocíos de agua.

Otras Declaraciones: Ninguno(a)

SECCIÓN 7. MANEJO Y ALMACENAJE

Manejo: Cuando maneje este producto, use Equipo de Protección Personal (EPP) adecuado. Evite contacto con los ojos, piel o ropa. Lávese muy bien después de manipular el producto. No se ingiera. Evite respirar sus vapores, rocíos o polvo.

Almacenaje: Almacene alejado de materiales incompatibles (refiérase a la Sección 10). Almacene a temperatura ambiente. Mantenga el envase bien cerrado cuando no se esté usando. Reacondicione o deseche los envases vacíos de acuerdo a las regulaciones gubernamentales. Para uso Industrial solamente.
Evite su congelación.

SECCIÓN 8. CONTROLES CONTRA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL

Límites de Exposición

COMPONENTE	FUENTES	LÍMITES DE EXPOSICIÓN
No ingredientes peligrosos en este producto		N/E

Categoría de Carcinogenicidad

Componente	Fuente	Código	Descripción Breve
No ingredientes peligrosos en este producto			N/E

Controles de Ingeniería: Use solamente con ventilación adecuada. Se recomienda el uso de ventilación local para el control de emisiones cercanas al punto de origen.

Protección Personal

Ojos:	Use gafas con protección contra salpicaduras o lentes de seguridad con careta de protección para la cara. Mantenga una fuente para lavado de ojos en el área de trabajo.
Piel:	Mantenga un sistema de drenaje rápido en el área de trabajo. Use guantes de goma de butilo o neopreno. Lávelos después de cada uso y reemplácelos cuando sea necesario. Si las condiciones así lo requieren, use ropa protectora como botas, delantales y bragas para prevenir el contacto con la piel.
Respiratorio:	Si se producen rocíos, use un respirador dual con Cartuchos para vapores/gas ácido que incluya un pre-filtro para polvo/rocíos, aprobado por NIOSH, de acuerdo a la regulación 29 CFR1910.134.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

Estado y Aspecto Físico:	Líquido, Ámbar, Claro
Gravedad Específica:	1.313 @ 20°C
pH:	10.0 @ 20°C, 100.0%
Punto de Congelación:	-5°C
Punto de Ignición:	N/A
Olor:	Suave
Punto de Fusión:	N/A
Punto de Ebullición:	N/D
Solubilidad en Agua:	Completa
Tasa de Evaporación:	N/D
Densidad de Vapor:	N/D
Peso Molecular:	N/D
Viscosidad:	<100.000 CPS @ 20°C
Límites de Inflamabilidad:	N/A
Temperatura de Auto-ignición:	N/A
Densidad:	10.95 lb/gls
Presión de Vapor:	N/D
% VOC:	N/D

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad Química: Estable a temperaturas y presiones normales.
Incompatibilidad con Sustancias: Oxidantes fuertes, Ácidos fuertes
Varias:

Productos Peligrosos de la Descomposición: Óxidos de carbono

Posibilidad de Reacciones Peligrosas: Ninguno(a) conocido(a).

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Nombre Químico	Exposición	Tipo de Efecto	Concentración	Especies
N/D				

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Especies	Duración	Tipo de efecto	Resultados de las pruebas
N/D			

Comentarios: No probado.

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

Deseche de acuerdo las regulaciones locales, estatales y federales.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTACIÓN

DOT

Nombre Apropriado de Transporte: COMPUESTO, TRATAMIENTO DE AGUA INDUSTRIAL, LÍQUIDO
Nombre Técnico: N/A
Clase Peligrosa: NO ESTÁ REGULADO
UN/NA#: N/A
Grupo de Empaque: N/A

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGULATORIA

Estatus del Inventario

Estados Unidos de Norteamérica (TSCA): Todos los ingredientes listados.

Canadá (DSL/NDL): Todos los ingredientes listados.

Regulaciones Federales

Reglamentos de SARA Tittle III

Secciones 311/312 Clasificación Peligrosa

Peligro de Incendio: No

Peligro de Reactividad: No

Liberación de Presión: No

Riesgo (Peligro) a la Salud Agudo: Sí

Riesgo (Peligro) a la Salud Crónico: No

Otras Secciones

Componente	Sección 13 Químico Tóxico	Sección 302 EHS TPQ	CERCLA RQ
No ingredientes peligrosos en este producto	N/A	N/A	N/A

Comentarios: Ninguno(a).

Regulaciones Estatales

California Proposición 65: Ninguno(a) conocido(a).

Regulaciones Especiales

Componente	Estados
No ingredientes peligrosos en este producto	Ninguno(a)

Regulaciones Internacionales

Canadá

Clasificación WHMIS: N/A

Regulaciones para Producto(s)
Controlado(s) (CPR) N/A

Sección 16. Otra Información

Clasificación Peligrosa HMIS

Salud: 1
Inflamabilidad: 0
Riesgo Físico: 0
EPP: X
Notas: La clasificación EPP (Equipo de Protección Personal) depende de las circunstancias de uso. Refiérase a la Sección 8 para el EPP recomendado. El Sistema de Información de Materiales Peligrosos (HMIS), es un sistema alfa-numérico subjetivo y voluntario, para informar las recomendaciones de equipo de protección personal y riesgo de peligros. Es un sistema subjetivo de clasificación, basado en el conocimiento de evaluador de los riesgos asociados al químico. El usuario final debe determinar si el código es apropiado para su uso.

NSF: N/A
FDA/USDA/GRAS: N/A
KOSHER: Este producto no ha sido evaluado para aprobación Kosher.
FIFRA: N/A
Otros: Ninguno(a)

Abreviaturas

Abreviación	Definición
<	Menos de
>	Más de
ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienist
EHS	Environmental Health and Safety Dept
N/A	No Aplica
N/D	No Determinado
N/E	No Establecido
OSHA	Occupational Health and Safety Dept
PEL	Límite de Exposición Personal
STEL	Límite de Exposición a Corto Plazo
TLV	Valor de Límite en el Umbral
TWA	Tiempo Medio Ponderado
DESC	Desconocido

Preparado por: Departamento de Asuntos Regulatorios

Exoneración de Responsabilidad

Aunque las recomendaciones que aparecen en este documento (de aquí en adelante, "Información") se indican de buena fe y con la certeza de estar correctos hasta la fecha actual, la empresa, no expresa ninguna garantía respecto a la inclusión o exactitud de los datos. Esta información se presenta bajo la condición de que las personas que la lean se encarguen de hacer sus propias determinaciones respecto a la aplicabilidad del producto para sus propósitos, previo al uso del mismo, la empresa, no será responsable, bajo ninguna circunstancia, de daños de cualquier naturaleza que resulten del uso o de la dependencia exclusiva de esta información. En este documento no se hace ninguna representación o garantía, ya sea expresa o implícita, de comercialización, de adecuación a un propósito concreto o de cualquier naturaleza, con respecto a la información presentada o al producto al que se refiere la información.